



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE ALGORITMO DE
OTIMIZAÇÃO EVOLUCIONÁRIA E ANÁLISE DE
SENSIBILIDADE PARA A DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA
INJEÇÃO NODAL EM REDES DE ENERGIA ELÉTRICA**

ROMEU KLUG JÚNIOR

(Licenciado)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador:

Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis (ISEL)

Júri:

Presidente: Professor Doutor Luís Manuel dos Santos Redondo (ISEL)

Vogais:

Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis (ISEL)

Professora Doutora Dulce Helena Pereira Costa (IP Setúbal)

Setembro de 2016

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

AGRADECIMENTOS

O espaço que me é reservado nesta secção, certamente, não me permite agradecer a todos como deveria. São inúmeras as pessoas que ao longo da minha vida contribuíram para que eu até aqui chegasse.

Assim, agradeço de forma simples, mas sincera a todos e em especial:

A todos os docentes da Licenciatura e Mestrado do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL e aos membros da Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação – ADESPA que contribuíram para a minha formação académica.

Ao meu orientador, o Professor Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis, pela sua disponibilidade, apoio, incentivo, motivação e orientação. Pela partilha de opiniões e pela análise crítica, a qual permitiu o constante avanço e enriquecimento deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

Aos meus amigos e colegas de licenciatura e mestrado, em especial ao Ricardo, que me apoiou na concretização deste desafio, ao Marco, ao Luís e ao Joaquim companheiros inseparáveis nas longas horas de estudo.

À minha mãe Erna e ao meu pai Romeu (em memória) que sempre demonstraram a importância dos estudos. Aos meus irmãos, Robson e Cris, e em especial aos meus sogros Alexandre e Margarida pelo apoio que me deram ao longo destes anos.

E finalmente, à minha Família. Em especial à minha esposa Sandra, por acreditar sempre em mim e naquilo que faço, pelo apoio e constante incentivo em todos os momentos e aos meus filhos Rodrigo e Rafaela. Espero que ao terminar esta etapa, possa retribuir-lhes com todo o meu amor, carinho e dedicação para o resto da minha vida. A eles dedico este trabalho.

A todos, enfim, reitero a minha eterna gratidão.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

RESUMO

Nesta dissertação foi desenvolvida uma metodologia com o objetivo de determinar o valor máximo de potência que é possível injetar num nó de uma rede de energia elétrica. Esta metodologia é assente na análise da sensibilidade da rede e um algoritmo de otimização evolucionário que identificam o valor máximo de potência admissível que cada nó pode injetar, em detrimento de um outro ou vários nós da rede.

Para o desenvolvimento da metodologia foram ainda estudados os tipos de injeções nodais, simultâneas e não simultâneas, assim como métodos de compensação e redistribuição de injeção por redução homotética e ordem de mérito.

Sendo a solução da máxima injeção nodal resultado de um problema combinatório, sujeito às características técnicas da rede, geração e carga, entre outras especificações e restrições identificadas neste documento, desenvolveu-se uma metodologia que pretende aplicar os métodos acima enunciados e apresentar uma nova abordagem à resolução do problema através do algoritmo evolucionário PSO, *Particle Swarm Optimization*, que foi adaptado ao problema.

Para o efeito desenvolveu-se uma aplicação informática em linguagem Python com interligação ao PSS®E, que permite configurar e testar diversos cenários e apresentar os resultados da máxima injeção nodal e as restrições associadas.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a redes de topologias diferentes para validação e comparação com métodos tradicionais.

Conclui-se que a metodologia desenvolvida apresenta resultados robustos podendo ser utilizada como apoio à decisão quer na gestão operacional quer no planeamento de redes elétricas.

PALAVRAS-CHAVE

Máxima Injeção Nodal, Matriz de Sensibilidade, Análise de Sensibilidade, Algoritmo Evolucionário, SPIL, PSO, Particle Swarm Optimization.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ABSTRACT

In this dissertation, a methodology for the calculation of the maximum nodal injection of power that is possible to produce in a certain node of an electrical power grid was developed. This methodology is based on a sensitivity analysis of the network and an evolutionary optimization algorithm that is used to identify the maximum volume of nodal injection that is possible to insert, reducing at the same time the equivalent amount in a single node or a set of network nodes.

For the development of the methodology, several methods of nodal injection were studied, namely simultaneous and non-simultaneous injections, as other methods of power compensation and distribution of power through homothetic reduction or merit order.

As the solution for the maximum nodal injection is a combinatorial problem, subject to the technical characteristics of the network, such as generation and load, among others parameters and restrictions identified in this document, it was developed a methodology which intends to apply the methods previously described and provide a new approach to solve this problem resorting to the evolutionary algorithm PSO, Particle Swarm Optimization, which was adapted to the problem.

For its implementation, a computer application was developed using Python language with interconnection to PSS®E, which allows to configure and test several scenarios and show both the results of the maximum nodal injection, and the restrictions associated to them.

The methodology was developed to be applied to networks with different topologies, allowing the validation and comparison of traditional methods.

As conclusion, this work demonstrates that this methodology provides solid results and can be used as a tool for decision-making support both on operational management, and network planning of electrical networks.

KEYWORDS

Maximum Nodal Injection, Electricity Networks, Sensitivity Matrix, Sensitivity Analysis, Evolutionary Algorithm, PSO, Particle Swarm Optimization.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA	4
1.4 ACRÓNIMOS E SIMBOLOS UTILIZADOS	5
CAPÍTULO 2	7
O PROBLEMA DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL	7
2.1 INTRODUÇÃO	9
2.2 INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA	9
2.3 INJEÇÃO SIMULTÂNEA	10
2.4 MÉTODOS DE COMPENSAÇÃO	11
2.4.1 HOMOTÉTICA	12
2.4.2 ORDEM DE MÉRITO	14
CAPÍTULO 3	17
METODOLOGIA EVOLUCIONÁRIA PARA SOLUÇÃO DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL	17
3.1 INTRODUÇÃO	19
3.2 ESTUDO DA FUNÇÃO $SPIL$ DO PSS®E	19
3.2.1 TRÂNSITO DE POTÊNCIA DC	21
3.2.2 MATRIZ DE SENSIBILIDADE	26
3.2.3 FATORES DE DISTRIBUIÇÃO E MÁXIMO LIMITE DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA	31
3.2.4 EXEMPLO DE CÁLCULO FATORES DE DISTRIBUIÇÃO E MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA	33
3.3 PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	39
3.3.1 TERMINOLOGIA	40
3.3.2 TOPOLOGIA DA VIZINHANÇA	41
3.3.3 PARAMETRIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PSO	44
3.3.4 CONFINAMENTO DA POSIÇÃO	46
3.3.5 VARIANTES DO PSO	46
3.3.6 FLUXOGRAMA E EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PSO	46
3.4 RESUMO	48
CAPÍTULO 4	49
DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA CÁLCULO DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL	49
4.1 INTRODUÇÃO	51
4.2 AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO	51
4.3 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO	52
4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	53
4.5 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO ALGORITMO PSO	54
4.6 PRESSUPOSTOS	56
4.7 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO	59

4.8	OUTPUT DA APLICAÇÃO	61
4.8.1	DADOS DA REDE	61
4.8.2	DADOS DA GERAÇÃO, CARGA E MODELO DE REDE	62
4.8.3	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO	62
4.8.4	CONFIGURAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PSO	63
4.8.5	MATRIZ DE SENSIBILIDADE	63
4.9	EXEMPLO DO ALGORITMO	64
4.9.1	MATRIZES PARA CÁLCULO	64
4.9.2	ENXAME INICIAL	66
4.9.3	ITERAÇÕES	69
4.10	DIFERENÇAS NO CÁLCULO DA REDUÇÃO HOMOTÉTICA	72
4.11	REDE IEEE 14 ADAPTADA E REDE 4 BARRAMENTOS	73
CAPÍTULO 5		77
APLICAÇÃO DO ALGORITMO PARA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL		77
5.1	INTRODUÇÃO	79
5.2	MÉTODO PSO APLICADA A REDE IEEE 14 ADAPTADA	79
5.2.1	MÉTODO PSO – INJEÇÕES NÃO SIMULTÂNEAS	79
5.2.2	MÉTODO PSO - INJEÇÕES SIMULTÂNEAS	89
5.2.3	MÉTODO PSO - INJEÇÕES SIMULTÂNEA – CENÁRIO TEÓRICO	100
5.3	MÉTODO REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICADA A REDE DE 4 BARRAMENTOS	103
5.4	MÉTODO ORDEM DE MÉRITO APLICADA A REDE DE 4 BARRAMENTOS	111
CAPÍTULO 6		113
CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS		113
6.1	CONCLUSÕES	115
6.2	TRABALHO FUTURO	119
BIBLIOGRAFIA		121
ANEXOS		125

ÍNDICE GERAL DE ANEXOS

Anexo 1 - Procedimentos SPIL Rede 4 Barramentos	127
Anexo 2 – Código Python para Criação da Matriz de Sensibilidade	132
Anexo 3 – Exemplo de Análise Estatística.....	134
Anexo 4 – Características das Redes IEEE 14 Adaptada e Rede de 4 Barramentos.....	135
Anexo 5 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 2 – Simulações.....	138
Anexo 6 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E	140
Anexo 7 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 3 – Simulações.....	141
Anexo 8 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E	143
Anexo 9 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 6 – Simulações.....	144
Anexo 10 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 6 – Trânsito Potência - PSS®E	146
Anexo 11 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 10 – Simulações.....	147
Anexo 12 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E ...	149
Anexo 13 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 2 – Simulações	150
Anexo 14 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E	152
Anexo 15 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 3 – Simulações	153
Anexo 16 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E.....	155
Anexo 17 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 6 – Simulações	156
Anexo 18 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 6 – Trânsito Potência - PSS®E.....	158
Anexo 19 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 10 – Simulações	159
Anexo 20 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E.....	161
Anexo 21 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 7 – Simulações	162
Anexo 22 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E.....	164
Anexo 23 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – Simulações	165
Anexo 24 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E	167
Anexo 25 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – SPIL - PSS®E	168
Anexo 26 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Simulações	169
Anexo 27 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E	171
Anexo 28 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – SPIL - PSS®E	172
Anexo 29 - 4 BUS – Homotética – Barramento 4 – Simulações	173
Anexo 30 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Trânsito de Potência - PSS®E	175
Anexo 31 - 4 BUS – Homotética – Barramento 4 – SPIL - PSS®E	176
Anexo 32 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2,4,1 - Simulação	177
Anexo 33 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3 – Trânsito Potência	178
Anexo 34 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2 – Trânsito Potência	178
Anexo 35 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2,4 – Trânsito Potência	178

ÍNDICE GERAL DE FIGURAS

Figura 2-1 – Rede de 4 Barramentos.....	13
Figura 3-1 – Sistema em Estudo e Sistema em Oposição.....	20
Figura 3-2 – Importação / Exportação de Potência Ativa.....	20
Figura 3-3 – Rede de 4 barramentos utilizada no exemplo de cálculo	23
Figura 3-4 – Resolução de Potências na Rede.....	25
Figura 3-5 – Aumento de Potência na Rede.....	25
Figura 3-6 – Resolução do Aumento de Potência.....	26
Figura 3-7 – Barramento em Estudo e Barramentos em Oposição	33
Figura 3-8 – Valores do SPIL para o Barramento 2.	38
Figura 3-9 – PSO Topologia em Anel	42
Figura 3-10 – PSO Topologia em Estrela	42
Figura 3-11 – PSO Topologia em Árvore.....	43
Figura 3-12 – PSO Topologia Grafo Completamente Ligado	43
Figura 3-13 – Algoritmo PSO Genérico	47
Figura 4-1 – Arquitetura da Aplicação.....	52
Figura 4-2 – Proposta Algoritmo Injeção Nodal PSO.....	59
Figura 4-3 – Informação Sobre a Rede.....	62
Figura 4-4 – Informação Sobre Geração, Cargas e Ramos.....	62
Figura 4-5 – Configuração do Cenário de Simulação	63
Figura 4-6 – Configuração de Variáveis PSO	63
Figura 4-7 – Desenvolvimento da Matriz de Sensibilidade	63
Figura 4-8 – Rede de 4 barramentos	64
Figura 4-9 – Topologia da Rede IEEE14	73
Figura 4-10 – Topologia da Rede IEEE14 Alterada	74
Figura 4-11 – Topologia da Rede 4 Barramentos	75
Figura 5-1 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 2 – Evolução da <i>Fitness</i>	81
Figura 5-2 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 2 – Estudo das Simulações	82
Figura 5-3 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 3 – Evolução da <i>Fitness</i>	84
Figura 5-4 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 3 – Estudo Ciclo Simulações	84
Figura 5-5 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 6 – Evolução da <i>Fitness</i>	86
Figura 5-6 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 6 – Estudo Ciclo Simulações	87
Figura 5-7 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 10 – Evolução da <i>Fitness</i>	88
Figura 5-8 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 10 – Estudo Ciclo Simulações	89
Figura 5-9 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 2 – Evolução da <i>Fitness</i>	91
Figura 5-10 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 3 – Estudo Ciclo Simulações.....	92
Figura 5-11 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 3 – Evolução da <i>Fitness</i>	94
Figura 5-12 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 3 – Estudo Ciclo Simulações.....	94
Figura 5-13 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 6 – Evolução da <i>Fitness</i>	96
Figura 5-14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 6 – Estudo Ciclo Simulações.....	97
Figura 5-15 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 10 – Evolução da <i>Fitness</i>	99
Figura 5-16 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 10 – Estudo Ciclo Simulações.....	99
Figura 5-17 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 7 – Evolução da <i>Fitness</i>	101
Figura 5-18 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 7 – Estudo Ciclo Simulações.....	102
Figura 5-19 – Homotético – Barramento 2 – Evolução da <i>Fitness</i>	105
Figura 5-20 – Homotético – Barramento 2 – Estudo Ciclo Simulações	105
Figura 5-21 – Homotético – Barramento 3 – Evolução da <i>Fitness</i>	107
Figura 5-22 – Homotético – Barramento 3 – Estudo Ciclo Simulações	108
Figura 5-23 – Homotético – Barramento 4 – Evolução da <i>Fitness</i>	110
Figura 5-24 – Homotético – Barramento 4 – Estudo Ciclo Simulações	110
Figura 8-1 – SPIL Create AllSystems	127
Figura 8-2 – SPIL Create Study.....	128
Figura 8-3 – SPIL Create Opposing.....	129
Figura 8-4 – File Participation.prt.....	129
Figura 8-5 – Build DFAX	130
Figura 8-6 – SPIL Configuração.....	131
Figura 8-7 – SPIL Relatório	131

ÍNDICE GERAL DE TABELAS

Tabela 2-1 Perfil Inicial de Geração dos Barramentos.....	13
Tabela 2-2 Redução Homotética da Geração.....	14
Tabela 2-3 Perfil de Geração e Ordem de Mérito	14
Tabela 2-4 Redistribuição das Gerações por Ordem de Mérito	15
Tabela 3-1 Características da rede de 4 barramentos.....	34
Tabela 3-2 Potências Geradas, Consumidas e injetadas na Rede 4 Barramentos	34
Tabela 3-3 Redução Homotética Rede 4 Barramentos	34
Tabela 3-4 Redução Homotética Potências Injetadas Rede 4 Barramentos	35
Tabela 3-5 Matriz de Sensibilidade com Referência ao Barramento 4	35
Tabela 3-6 Redução Homotética Associada à Sensibilidade.....	36
Tabela 3-7 Matriz de Transferência de Carga	36
Tabela 3-8 Trânsito Potência nos Ramos Rede 4 Barramentos	37
Tabela 3-9 Cálculo do Valor Máximo de Injeção Barramento 2.....	37
Tabela 3-10 Teste de Injeção Máxima no Barramento 2 da Rede de 4 barramentos.....	38
Tabela 3-11 Teste de Injeção Máxima no Barramento 2 da Rede de 4 barramentos.....	38
Tabela 3-12 Matriz Capacidade Máxima de Receção	39
Tabela 3-13 Máxima Injeção Nodal Rede 4 Barramentos	39
Tabela 4-1 Exemplo PSO 4 Barramentos.....	64
Tabela 4-2 Matriz de Sensibilidade com Referência ao Barramento 1	65
Tabela 4-3 Matriz de Geração Inicial	65
Tabela 4-4 Matriz de Geração Máxima.....	65
Tabela 4-5 Matriz de Geração mínima.....	66
Tabela 4-6 Matriz de Carga	66
Tabela 4-7 Matriz dos Limites das Linhas.....	66
Tabela 4-8 Enxame Inicial Rede 4 Barramentos.....	66
Tabela 4-9 Matriz de Geração Inicial Rede 4 Barramentos	67
Tabela 4-10 Matriz de Injeção da Rede 4 barramentos	67
Tabela 4-11 Cálculo do trânsito de potência em MW	67
Tabela 4-12 Cálculo da Fitness Partículas Iniciais.....	68
Tabela 4-13 Matriz PBest Iteração 0.....	68
Tabela 4-14 Matriz GBest Iteração 0	68
Tabela 4-15 V(n,d) (0) Velocidade Inicial.....	69
Tabela 4-16 V(n,d) (0) Velocidade Iteração 1	69
Tabela 4-17 Cálculo da nova posição das Partículas na Iteração 1	70
Tabela 4-18 Matriz de Geração da Rede 4 Barramentos iteração 1.....	71
Tabela 4-19 Cálculo do trânsito de potência na iteração 1	71
Tabela 4-20 Cálculo do trânsito de potência em MW	71
Tabela 4-21 Cálculo do Fitness das Partículas na Iteração 1.....	71
Tabela 4-22 Matriz PBest Iteração 1.....	72
Tabela 4-23 Matriz GBest Iteração 1	72
Tabela 4-24 Arredondamentos Redução Homotética	73
Tabela 5-1 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Cenário Barramento 2.....	80
Tabela 5-2 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Solução Barramento 2.....	80
Tabela 5-3 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 2 - Trânsito Potência.....	81
Tabela 5-4 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Cenário Barramento 3.....	82
Tabela 5-5 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 3.....	83
Tabela 5-6 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 3 - Trânsito Potência nos Ramos	83
Tabela 5-7 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Cenário Barramento 6.....	85
Tabela 5-8 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Solução Barramento 6.....	85
Tabela 5-9 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 6 - Trânsito Potência nos Ramos....	86
Tabela 5-10 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Cenário Barramento 10.....	87
Tabela 5-11 IEEE14 – PSO - Injeção Não Simultânea – Solução Barramento 10	88
Tabela 5-12 IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea – Barramento 10 - Trânsito Potência nos Ramos	88
Tabela 5-13 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Cenário Barramento 2.....	90
Tabela 5-14 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Solução Barramento 2	90
Tabela 5-15 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 2 - Trânsito Potência Ramos.....	91

Tabela 5-16 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Cenário Barramento 3.....	92
Tabela 5-17 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Solução Barramento 3	93
Tabela 5-18 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 3 - Trânsito Potência Ramos.....	93
Tabela 5-19 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Cenário Barramento 6.....	95
Tabela 5-20 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Solução Barramento 6	95
Tabela 5-21 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 6 - Trânsito Potência Ramos.....	96
Tabela 5-22 IEEE14– PSO – Injeção Simultânea – Cenário Barramento 10.....	97
Tabela 5-23 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Solução Barramento 10	98
Tabela 5-24 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 10 - Trânsito Potência Ramos.....	98
Tabela 5-25 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Cenário Barramento 7.....	100
Tabela 5-26 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Solução Barramento 7	100
Tabela 5-27 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 7 - Trânsito Potência Ramos.....	101
Tabela 5-28 IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 10 - Teórico	102
Tabela 5-29 4 BUS – Homotético – Cenário Barramento 2	103
Tabela 5-30 4 BUS – Homotética – Solução Barramento 2.....	104
Tabela 5-31 4 BUS – Homotético – Barramento 2 - Trânsito Potência Ramos	104
Tabela 5-32 4 BUS – Homotético – Cenário Barramento 3	106
Tabela 5-33 4 BUS – Homotética – Solução Barramento 3.....	106
Tabela 5-34 4 BUS – Homotético – Barramento 3 - Trânsito Potência Ramos	107
Tabela 5-35 4 BUS – Homotético – Cenário Barramento 4	108
Tabela 5-36 4 BUS – Homotético – Solução Barramento 4.....	109
Tabela 5-37 4 BUS – Homotético – Barramento 4 - Trânsito Potência Ramos	109
Tabela 5-38 4 BUS – Cenário Ordem de Mérito	111
Tabela 5-39 4 BUS – Cenário Ordem de Mérito	112
Tabela 8-1 Análise Estatística.....	134
Tabela 8-2 Dados dos Barramentos e Geração Rede IEEE 14 BUS Adaptada	135
Tabela 8-3 Dados da Carga, Geração Eólica e Baterias Rede IEEE14 Bus Adaptada	135
Tabela 8-4 Dados dos Transformadores Rede IEEE14 Bus Adaptada	136
Tabela 8-5 Dados dos Ramos Rede IEEE14 Bus Adaptada	136
Tabela 8-6 Dados dos Barramentos e Geração Rede 4 Barramentos.....	136
Tabela 8-7 Dados da Carga, Geração Eólica e Baterias Rede 4 Barramentos	137
Tabela 8-8 Dados dos Ramos Rede 4 Barramentos	137

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos o setor energético tem vindo a mudar a sua visão para o futuro, face ao crescente investimento em energias alternativas com o objetivo de reduzir a dependência das importações de energia. São diversos os desafios identificados, desde a inovação tecnológica, a forma como são geridas, exploradas e mantidas as redes de energia elétrica até ao nível de como os consumidores passaram a consumir a energia.

Perante isto, inúmeras ações tem sido desenvolvidas, onde a aposta na utilização de energias renováveis apresenta especial interesse. Embora, esta aposta apresente vários benefícios, são diversos os fatores que condicionam a complexa tarefa de acomodar o máximo de energia renovável, como por exemplo: a localização e dimensão dos centros produtores e de consumo, entre outros aspetos.

De entre os diversos temas de investigação e análise sobre o assunto acima exposto e também com a mudança de paradigma baseado no conceito de geração distribuída, o estudo da capacidade máxima de injeção nodal assume um papel importante. A introdução de centros produtores de menor capacidade e localizados em locais próprios, de acordo com o tipo de geração, dificulta o planeamento, exploração e otimização das redes elétricas tendo ainda que garantir o elevado nível de qualidade do serviço e satisfazer igualmente as restrições técnicas associadas.

Levando em consideração a volatilidade e intermitência associadas às produções renováveis, torna-se vital um melhor planeamento e exploração dos recursos atuais e futuros. Desta forma, a análise computacional ganha um papel fundamental no processamento de diversas informações com o objetivo identificar a melhor localização e dimensão das unidades de produção, a capacidade máxima de injeção disponível nas unidades de produção e identificar os elementos que limitam e/ou condicionam a integração de fontes de energia renovável.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para identificação da máxima injeção nodal em redes de energia elétrica através de um algoritmo evolucionário suportado numa análise de sensibilidade.

No âmbito da aplicação desta metodologia pretende-se demonstrar:

- O desenvolvimento e implementação de uma nova abordagem de identificação da máxima injeção nodal assente na análise da sensibilidade da rede e algoritmo evolucionário;
- O desenvolvimento e implementação de uma plataforma informática para simulação de diversos cenários, configuráveis pelo utilizador.

1.3 ESTRUTURA

A estrutura desta dissertação está dividida 6 capítulos.

O presente capítulo apresenta a introdução e enquadramentos sobre o tema da determinação da máxima injeção nodal, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho e os objetivos que se pretende atingir, entre outros aspetos relevantes para a organização e compreensão desta dissertação.

No capítulo 2 é apresentado o problema da máxima injeção nodal, os tipos de injeção e os métodos de redistribuição da injeção.

No capítulo 3 é descrito o desenvolvimento da metodologia evolucionária para a determinação da máxima injeção nodal. São apresentados os estudos referentes à matriz de sensibilidade, à função *SPIL* e o estudo do algoritmo PSO.

No capítulo 4 é apresentada a plataforma informática desenvolvida, a adaptação do algoritmo evolucionário à resolução do problema de máxima injeção nodal, e ilustrada a sua aplicação a redes de pequena dimensão.

O Capítulo 5 apresenta os resultados da aplicação do algoritmo a diferentes redes (rede de 4 barramentos e outra rede baseada na IEEE 14), sendo efetuadas neste capítulo as comparações com os métodos tradicionais.

Por último, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões sobre este documento e propostas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

1.4 ACRÓNIMOS E SIMBOLOS UTILIZADOS

$[a]$	- Matriz de incidência
$[a^r]^T$	- Transposta da matriz de incidência com referência ao barramento r
$[A^r]$	- Matriz de Sensibilidade com referência ao barramento r
$[b]$	- Matriz de admitâncias primitivas
$[B]$	- Matriz das susceptâncias
$[B^r]^{-1}$	- Inversa da matriz de susceptâncias com referência ao barramento r
Bal	- Barramento de balanço
$Bal_{<0}$	- Balanço menor que zero
c_1	- Coeficiente de confiança próprio
c_2	- Coeficiente de confiança grupo
FP	- Fator de penalização
$GBest_d$	- Melhor posição encontrada do grupo
P_{Ad}	- Geração adicionada ao barramento em estudo em MW
$PBest_{n,d}$	- Melhor posição encontrada da partícula
$P_{Bus\ Obj}$	- Barramento a maximizar a injeção nodal
$P_i \%$	- Participação da geração do barramento i
P_i^G	- Geração inicial do barramento i em MW
$P_i^{G\ Novo}$	- Novo nível de geração do barramento (já com redução) em MW
$P_{ik\ (base)}$	- Potência inicial do caso base do ramo ik
$P_{ik\ (Máx)}$	- Potência máxima que é possível transitar no ramo
P_j	- Potência injetada no barramento j
$P_{G_i\ Max}$	- Limite superior da potência injetada no barramento i
$P_{G_i\ Min}$	- Limite inferior da potência injetada no barramento i
P_{G_k}	- Potência injetada no barramento k
$P_{G_{kl}Lim}$	- Limite de potência injetada no barramento k
P_{Total}	- Potência ativa total injetada pels restantes geradores em MW
$[P]$	- Vetor das potências injetadas
$[P_L]$	- Vetor das potências entre os barramentos
$P_{L\ Exc}$	- Soma do módulo da potência excedida nos ramos
$P(x)$	- Função Densidade de Probabilidade
n_b	- Numero de barramentos ligados ao barramento j
$r_1\ ou\ 2$	- Números aleatórios
S_{ramo}	- Potência em transito no ramo em MVA
S'_{ramo}	- Limite do ramo em MVA
T_r^n	- Elementos da matriz de transferência de carga
V_{max}	- Velocidade inicial máxima
V_{min}	- Velocidade inicial mínima
$v_{n,d}(t)$	- Velocidade da partícula n , na iteração t e dimensão d
$v_{n,d}(t+1)$	- Velocidade da partícula n , para a próxima iteração
$X(t_0)$	- Valor inicial da partícula
$x_{n,d}(t)$	- Posição da partícula n , na iteração t e dimensão d
$x_{n,d}(t+1)$	- Posição da partícula n , para a próxima iteração
X_{ji}	- Reatância da linha entre o barramento $i - j$
ω	- Inércia
$\Delta P\ Max_n$	- Elementos da matriz da capacidade de receção
$\Delta P_{SPIL,r}^n$	- Injeção Máxima do nó n para o ramo r
$\Delta Y_{\{o\}}$	- Redução homotética associada a sensibilidade dos barramentos em oposição
γ_{barr}	- fatores de redução homotética dos barramentos em oposição
σ	- Desvio padrão
$\theta_i\ ou\ j$	- Ângulo da tensão no barramento $i - j$
$[\theta]$	- Vetor dos ângulos das tensões
API	Application Program Interface
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
PSO	Particle Swarm Optimization
PSS®E	Power Transmission System Planning Software
SEE	sistemas elétricos de energia

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

CAPÍTULO 2

O PROBLEMA DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2.1 INTRODUÇÃO

O estudo das capacidades das injeções nodais de uma rede pretende determinar a quantidade de potência que é possível injetar num determinado nó (barramento) da rede, reduzindo simultaneamente a injeção de potência nos outros centros produtores..

O cálculo das injeções nodais encontra-se relacionado com alguns aspetos importantes, que devem ser tidos em consideração e que influenciam o valor calculado, destacando-se os seguintes:

- Como é efetuada a redistribuição da produção pelos restantes centros produtores?
- Como se encontra distribuída a geração e o consumo pela rede em estudo?

Por um lado, é possível determinar quais os centros produtores que serão afetados nesta redistribuição de produção, e por outro, qual o impacto esperado em cada um dos ramos da rede (ex.: linhas e transformadores).

Seguidamente, será efetuada uma descrição mais detalhada dos métodos utilizados para calcular as injeções nodais (simultâneas e não simultâneas) que nos permitem responder às questões indicadas anteriormente.

2.2 INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA

No problema do cálculo da injeção nodal não simultânea pretende-se determinar qual a máxima potência que pode ser injetada num determinado nó da rede, tendo em conta as limitações técnicas da mesma e os níveis de aceitabilidade definidos pelas entidades reguladoras de cada país ou mercado em que a rede se encontra inserida.

Neste método, para a determinação da potência adicional que é possível injetar num nó da rede, deve-se ter em conta que os valores de geração existentes na rede mantêm-se inalteráveis, com exceção do barramento de referência (*slack*) o qual efetuará o balanço do sistema até um dos limites técnicos da rede ser atingido (quer seja por um ramo, quer seja pela própria geração).

Neste sentido, a formulação do problema pode ser descrita conforme definida por João Nunes, 2012 [1] :

A função objetivo é dada por:

$$f(P_{G_k}') = \max P_{G_k} \quad (1)$$

s.a.

$$S_{ramo} \leq S'_{ramo} \quad (2)$$

$$P_{G_k} \leq P_{G_{kLim}} \quad (3)$$

$$P_{GBal} \geq 0 \quad (4)$$

Onde:

P_{G_k} – Potência injetada no barramento k

k – Barramento onde será efetuado o aumento de potência

Bal – Barramento de balanço

S_{ramo} – Potência em transito no ramo em MVA

S'_{ramo} – Limite do ramo em MVA

$P_{G_{kLim}}$ – Limite de potência injetada no barramento k

Esta formulação expressa que a potência máxima que se poderá injetar num determinado barramento (1) será limitada pelo valor máximo admissível nos ramos (2), que não pode ser superior à sua potência nominal por forma a evitar sobrecargas. Será igualmente limitada pela potência nominal da geração ligada ao nó k (3) e pelos limites do gerador de balanço, que deverá ser superior ou igual a zero (4), garantindo assim que o mesmo não assuma uma posição de consumidor.

2.3 INJEÇÃO SIMULTÂNEA

No problema do cálculo da injeção nodal simultânea pretende-se determinar qual a máxima potência que pode ser injetada num nó na rede considerando a injeção de potência simultaneamente em vários nós da rede. Esta determinação é efetuada, tal como no caso anterior, contemplando as limitações técnicas da rede e os níveis de aceitabilidade definidos pelas entidades reguladoras de cada país ou mercado em que a rede se encontra inserida.

Neste método, para a determinação da potência que é possível injetar na rede, considera-se possível a redução da potência injetada nos vários nós da rede, sendo no final efetuado o balanço da mesma através do barramento de referência (*slack*) até um dos limites técnicos da rede ser atingido (quer seja por um ramo, quer seja pela própria geração).

Neste sentido, a formulação do problema pode ser descrita conforme definida por Luís da Costa (2014) [2]: :

A função objetivo é dada por:

$$f(P_{G_k}') = \sum_{k=1}^N P_{G_k} \quad (5)$$

s.a.

$$S_{i\text{ ramo}} \leq S'_{i\text{ ramo}} \quad (6)$$

$$P_{G_{i\text{ Min}}} \geq P_{G_i} \geq P_{G_{i\text{ Max}}} \quad (7)$$

$$P_{G_{Bal}} \geq 0 \quad (8)$$

Onde:

P_{G_k} – Potência injetada no barramento k

k – Barramento onde será efetuado o aumento de potência

i – Barramento onde será efetuada a alteração de potência

N – Número de barramentos da rede

Bal – Barramento de balanço

S_{ramo} – Potência em transito no ramo em MVA

S'_{ramo} – Limite do ramo em MVA

$P_{G_{i\text{ Min}}}$ – Limite inferior da potência injetada no barramento i

$P_{G_{i\text{ Max}}}$ – Limite superior da potência injetada no barramento i

Esta formulação expressa que a potência máxima que se poderá injetar na rede (5) que é limitada pelo valor máximo admissível nos ramos (6), que não pode ser superior à sua potência nominal por forma a evitar sobrecargas. Será igualmente limitada pelos limites de funcionamento da geração ligada em cada nó (7) e pelos limites do gerador de balanço, que deverá ser superior ou igual a zero (8), garantindo assim que o mesmo não assuma uma posição de consumidor.

2.4 MÉTODOS DE COMPENSAÇÃO

Independentemente do método de injeção nodal escolhido (simultânea ou não simultânea), estes têm por objetivo efetuar o aumento de potência injetada num ou vários nós da rede. Uma vez que o cenário de carga permanece constante, pode-se optar por compensar a geração existente por diversos métodos, métodos estes que serão seguidamente apresentados.

2.4.1 HOMOTÉTICA

O método da compensação homotética baseia-se no princípio de que o acréscimo de geração num centro produtor deverá ser acompanhado da redução do nível da produção nos restantes.

A redução da geração será efetuada proporcionalmente, considerando a proporção da contribuição de cada centro produtor existente na rede. Assim sendo, inicialmente é efetuada uma recolha dos valores de injeção em cada centro produtor, sendo a potência adicional introduzida a partir do ponto que se pretende maximizar, descontada proporcionalmente na restante geração.

Pretende-se com este método que a redução seja proporcional e que a rede mantenha um perfil de produção semelhante ao inicialmente estabelecido.

A contribuição que cada barramento representa para a rede em relação ao total da potência injetada pode ser determinada pela seguinte expressão (9) e a redução que os barramentos deverão sofrer é determinada pela expressão (10):

$$P_{i\%} = \frac{P_i^G}{P_{Total}} \times 100 \quad (9)$$

$$P_{i\,Novo}^G = P_i^G - P_{Ad} \times \frac{P_{i\%}}{100} \quad (10)$$

Onde:

$P_{i\%}$ – Participação da geração do barramento i no total gerado pelos restantes geradores em %

P_{Total} – Potência ativa total injetada pelos restantes geradores em MW

P_i^G – Geração inicial do barramento i em MW

P_{Ad} – Geração adicionada ao barramento em estudo em MW

$P_{i\,Novo}^G$ – Novo nível de geração do barramento (já com redução) em MW

2.4.1.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA COMPENSAÇÃO HOMOTÉTICA

No exemplo seguinte serão descritos os passos para aplicar o método de redução homotética. Para tal, será utilizada uma rede de 4 barramentos, por forma a ilustrar o resultado da sua aplicação.

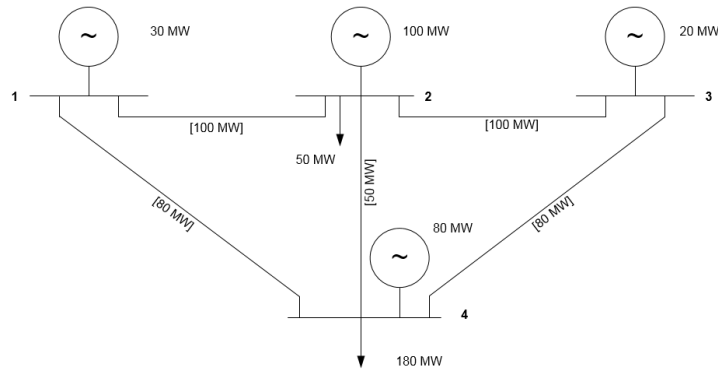


FIGURA 2-1 – REDE DE 4 BARRAMENTOS

O perfil inicial de geração e carga é apresentado na Tabela 2-1.

TABELA 2-1 PERFIL INICIAL DE GERAÇÃO DOS BARRAMENTOS

BARRAMENTOS	GERAÇÃO INICIAL [MW]	CARGA INICIAL [MW]
1 (BALANÇO)	30	0
2	100	50
3	20	0
4	80	180
TOTAL	230	230

Inicialmente é necessário estabelecer qual o barramento que será estudado e sujeito a aumento de geração.

Neste exemplo serão injetados 10 MW adicionais no barramento 2, reduzindo homoteticamente os restantes.

Através da formulação apresentada em (9) e (10) é possível determinar o novo ponto de funcionamento da geração dos restantes barramentos.

Através da análise dos valores da Tabela 2-1, pode-se verificar que a potência total injetada na rede é de 230MW (tal como a carga). Assim, utilizando o barramento 1 como exemplo, mostra-se de seguida o cálculo dos novos valores geração:

$$P_{1\%} = \frac{30}{230} \times 100 = 13,04\%$$

$$P_{1\text{ Novo}}^G = 30 - 13,04 \times \frac{10}{100} = 28,704 \text{ MW}$$

Na Tabela 2-2, são apresentados os novos valores de geração para todos os barramentos.

TABELA 2-2 REDUÇÃO HOMOTÉTICA DA GERAÇÃO

BARRAMENTOS	REDUÇÃO HOMOTÉTICA		
	P_i^G	$P_i \%$	$P_i^G (Novo)$
1	30,0	23,1	27,7
2	100,0	-	110,0
3	20,0	15,4	18,5
4	80,0	61,5	73,8
TOTAL	230	100%	230

Como se pode observar na tabela acima, o incremento de 10 MW no barramento 2 refletiu-se nos restantes barramentos, proporcionalmente à sua contribuição no perfil de geração.

2.4.2 ORDEM DE MÉRITO

O método da ordem de mérito consiste em atribuir pesos distintos de acordo com a natureza da geração presente na rede (carvão, gás, hídrica, etc). Este método lista todos os geradores e privilegia os que apresentem um maior mérito, isto é, que sejam mais vantajosos na resolução do problema que se esteja a abordar. Neste método o corte ou acréscimo de produção é feito tendo em conta a lista ordenada do mérito de cada um dos geradores, por forma a introduzir no sistema a melhor opção disponível de acordo com esta lista.

2.4.2.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ORDEM DE MÉRITO

Para o exemplo de cálculo da compensação de geração envolvendo o método da ordem de mérito, recorrer-se-á à mesma rede utilizada no ponto anterior. A Tabela 2-3 apresenta a ordem de mérito considerada para efeitos da decisão. Esta ordem estabelece quais os barramentos que serão prioritários. Deste modo, quanto mais alta for a ordem de mérito de um produtor, maior será a sua prioridade de utilização.

TABELA 2-3 PERFIL DE GERAÇÃO E ORDEM DE MÉRITO

BARRAMENTOS	P_i^G	ORDEM DE MÉRITO
1	30	1
2	100	3
3	20	4
4	80	2
TOTAL	230	

Como se pode observar na Tabela 2-3, de acordo com a ordem de mérito, o barramento 3 é aquele que apresenta o maior mérito, sendo portanto a primeira escolha para sofrer alteração do seu nível de produção. Seguidamente, passar-se-á aos barramentos 4, 2 e 1, por esta ordem.

A quantidade que é possível injetar encontra-se restringida pelos limites mínimos de funcionamento dos geradores e pela capacidade máxima dos ramos.

A Tabela 2-4 apresenta um exemplo que foi criado para ilustrar um cenário em que se pretende aumentar a capacidade gerada dos produtores recorrendo a uma ordem de mérito.

TABELA 2-4 REDISTRIBUIÇÃO DAS GERAÇÕES POR ORDEM DE MÉRITO

BARRAMENTO	ORDEM DE MÉRITO	P_i^G MW	P_i^G (Novo) MW	INFORMAÇÃO
3	4	30	120	Limitado pelo ramo 3 - 4
2	3	100	80	Limitado pelo ramo 2 - 4
4	2	20	30	
1	1	80	0	
TOTAL		230	230	

Conforme se pode observar na tabela acima, em primeiro lugar é efetuada a maximização da injeção no barramento 3. Identifica-se por um método qualquer (que será apresentado no Capítulo 3) que é possível aumentar a injeção de 30 MW para 120 MW, sendo esta injeção limitada pela capacidade máxima do ramo 3 – 4.

Seguidamente, fixa-se o valor de 120 MW para o barramento 3 e procede-se a maximização da injeção no barramento 2. Identifica-se que o valor máximo foi de 80 MW, sendo limitado pela capacidade do ramo 2 – 4.

Por último, fixa-se os valores de injeção dos barramentos 3 e 2 e determina-se a capacidade da injeção do barramento 4. Neste caso, foi identificado o valor de 30 MW, valor este somente para satisfazer da carga.

Em alternativa ao fixar os valores das injeções poderia ser determinado que estes valores das injeções seriam os mínimos para a próxima sequência.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA EVOLUCIONÁRIA PARA SOLUÇÃO DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3.1 INTRODUÇÃO

No desafio do cálculo da máxima injeção nodal numa rede de energia elétrica, um dos seus focos principais passa por tentar atingir dois objetivos:

- (1) Determinar a máxima injeção nodal.
- (2) Simplificar a obtenção dos resultados.

Devido à complexidade dos cálculos em redes de grande dimensão, a obtenção dos resultados pode ser demorada. Verifica-se que em alguns estudos efetuados por João Nunes [1] e por Luís Costa [2] o processo de procura de soluções baseiam-se na utilização de algoritmos evolucionários, pois a utilização dos mesmos é eficaz e expedita.

Neste trabalho será exposto um método desenvolvido que permitirá utilizar como base a função *SPIL* do PSS®E [3] e um algoritmo evolucionário (*Particle Swarm Optimization*) [7] [8].

Seguidamente será ilustrada a formulação da metodologia para a resolução do problema da determinação da máxima injeção nodal.

3.2 ESTUDO DA FUNÇÃO *SPIL* DO PSS®E

A função *SPIL* (*Sequential Participation Interchange Limits*) do PSS®E estima os limites de troca (importação / exportação) de potência ativa entre dois subsistemas recorrendo a um modelo linearizado da rede (Modelo DC).

Através desta função é possível determinar o limite máximo de importação / exportação de potência ativa que é possível realizar entre dois subsistemas designados por: (a) sistema em estudo (importação); (b) sistema em oposição (exportação).

Tanto o sistema em estudo como o sistema em oposição, podem ser compostos por um ou vários barramentos de injeção, conforme é ilustrado na Figura 3-1. Pode-se verificar que o sistema em estudo é composto apenas pelo barramento 2 (barramento o qual pretende-se aumentar a injeção), enquanto o sistema em oposição é composto pelos barramentos 1, 3 e 4.

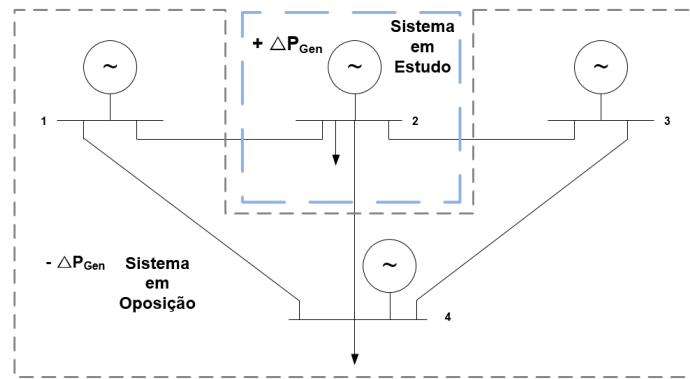


FIGURA 3-1 – SISTEMA EM ESTUDO E SISTEMA EM OPOSIÇÃO

A quantidade de potência ativa importada para o sistema em estudo, terá como consequência a exportação na mesma quantidade de potência pelo sistema em oposição, garantindo que o saldo importação / exportação seja nulo, ou seja, a quantidade de potência ativa que deixará de ser produzida $-\Delta P_{GEN}$, no sistema em oposição será incrementada $+\Delta P_{GEN}$ no sistema em estudo, conforme ilustrado na Figura 3-2.

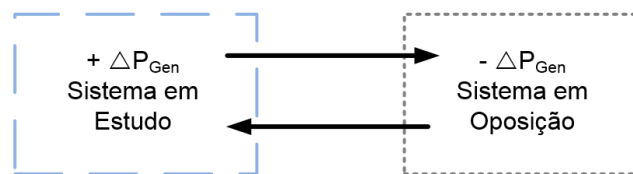


FIGURA 3-2 – IMPORTAÇÃO / EXPORTAÇÃO DE POTÊNCIA ATIVA

A determinação da quantidade máxima de potência que é possível transferir do sistema em oposição para o sistema em estudo é calculada através dos fatores de distribuição. Os fatores de distribuição são coeficientes que relacionam as injeções nodais com as variações de potência ativa nos ramos (linhas ou transformadores). O limite máximo de troca entre os subsistemas é limitado também pelos limites técnicos da rede (ex: limites dos geradores ou limites dos ramos) como será apresentado mais à frente neste trabalho.

Ao utilizar este método, em que o sistema em estudo assume um único barramento e o em oposição inclui os restantes barramentos de produção, pode-se determinar a máxima injeção nodal para o barramento em estudo (barramento 2).

Conforme referido anteriormente, esta técnica recorre ao método linearizado da rede. Desta forma, antes de apresentarmos o modelo de cálculo realizado pela função *SPIL* será efetuada uma explicação sobre o método de trânsito de potência DC e sobre a Matriz de Sensibilidade, que servem de base para a determinação dos fatores de distribuição e os limites máximos de injeção.

3.2.1 TRÂNSITO DE POTÊNCIA DC

Os métodos de trânsito de potência, ou fluxo de carga como também são conhecidos, são importantes ferramentas no planeamento, operação, manutenção ou exploração dos sistemas elétricos de energia (SEE).

Estes métodos permitem efetuar a avaliação do estado da rede em termos de simulação nos regimes permanente ou de contingência.

Em redes de grande dimensão onde se pretenda calcular os fluxos de potência, pode-se desprezar a parte resistiva das linhas de modo a simplificar os cálculos. Com esta simplificação é possível utilizar o modelo linearizado da rede, conhecido por modelo DC [3].

No modelo DC as únicas variáveis a serem determinadas são os ângulos das tensões e as potências ativas, pois neste método as perdas de potência reativa são negligenciadas. O módulo das tensões nos barramentos são considerados iguais (aproximadamente à tensão nominal), visto que as diferenças angulares das tensões são assumidamente reduzidas.

O modelo DC permite linearizar as equações do trânsito de potência AC calculadas através do método de Newton-Raphson, descrevendo uma relação entre a potência injetada nos nós e a tensão nos barramentos.

Com estas simplificações pode-se obter uma solução através de um processo direto sem ter que efetuar iterações, o que reduz consideravelmente o tempo necessário de obtenção do resultado.

3.2.1.1 EQUAÇÕES DO TRÂNSITO DE POTÊNCIA DC

As equações do trânsito de potência no modelo DC podem ser determinadas a partir do desenvolvimento das equações nodais, as quais passam a ser descritas:

A potência injetada no barramento j pode ser determinada através da seguinte expressão (11):

$$P_j = \sum_{i \neq j} P_{ij} = \sum_{i \neq j} \frac{(\theta_j - \theta_i)}{X_{ji}} \Leftrightarrow P_j = \theta_j \times \sum_{i \neq j} \frac{-\theta_i}{X_{ji}}$$

$$P_j = - \sum_{i \neq j} \frac{\theta_i}{X_{ji}} \quad (j = 1, 2, \dots, n_b)$$
(11)

Onde:

P_j – Potência injetada no barramento j

$\theta_{i \text{ ou } j}$ – Ângulo da tensão no barramento $i - j$

X_{ji} – Reatância da linha entre o barramento $i - j$

n_b – Numero de barramentos ligados ao barramento j

A Susceptância da linha pode ser determinada pela expressão (12):

$$B_{ij} = \sum_{i \neq j} \frac{1}{X_{ji}} \quad B_{ij} = -\frac{1}{X_{ji}} \quad (12)$$

B_{ij} – Suscetância da linha entre os barramentos $i - j$

Assim tem-se:

$$P_j = \sum_i B_{ij} \times \theta_i \quad (13)$$

Em termos matriciais tem-se:

$$[P] = [B] \times [\theta] \quad (14)$$

Onde:

$[P]$ – Vetor das potências injetadas

$[B]$ – Matriz das susceptâncias

$[\theta]$ – Vetor dos ângulos das tensões

A matriz de susceptâncias $[B]$ pode ser determinada pela seguinte expressão (15):

$$[B] = [a] \times [b] \times [a]^T \quad (15)$$

Em que :

$[B]$ – Matriz de susceptâncias

$[b]$ – Matriz de admitâncias primitivas

$[a]$ – Matriz de incidência

Onde:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq j \\ B_{ij}, & \text{se } i = i \end{cases} \quad (16)$$

b_{ij} – Elemento da matriz de admitâncias primitivas

E,

$$a_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{se a potência no ramo } j \text{ sai do barramento } i \\ -1, & \text{se a potência no ramo } r \text{ entra no barramento } i \\ 0, & \text{se o ramo } i \text{ não está ligado ao barramento } i \end{cases} \quad (17)$$

a_{ij} – Elemento da matriz de incidência

Em termos matriciais o trânsito de potência em cada ramo pode ser determinado por:

$$[P_L] = -[B] \times [P] \quad (18)$$

Onde:

$[P_L]$ – Vetor das potências entre os barramentos (P_{ij})

$[P]$ – Vetor das potência injetadas (P_j)

3.2.1.2 EXEMPLO DE CÁLCULO

Seja uma rede uma rede de quatro barramentos, conforme ilustrado Figura 3-3:

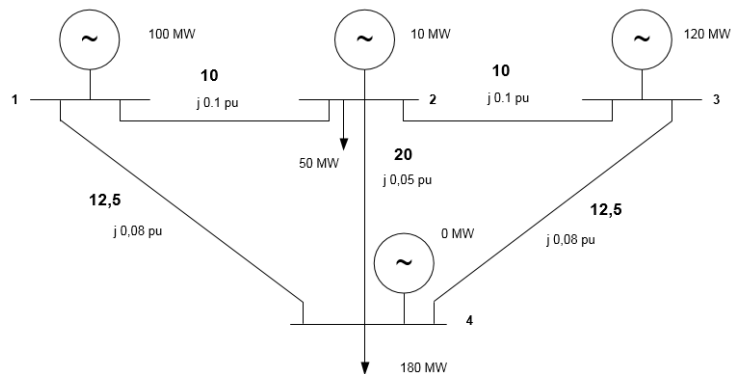


FIGURA 3-3 – REDE DE 4 BARRAMENTOS UTILIZADA NO EXEMPLO DE CÁLCULO

Na Figura 3-3 são apresentadas as reatâncias (X_{ji}) dos ramos

Pode-se determinar através da expressão (12) e da expressão (16) a matriz de admitâncias primitivas ($[b]$):

$$[b] = \begin{bmatrix} -10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12,5 \end{bmatrix} j$$

onde:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq j \\ B_{ij}, & \text{se } i = j \end{cases}$$

Deste modo a matriz de incidência ($[a]$) pode ser calculada através da expressão (17):

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Note-se que o elemento a_{ij} é composto pelos elementos i (barramentos) e j (linhas).

Através de uma operação matricial obtém-se a transposta da matriz de incidência ($[a]^T$):

$$[a]^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Assim, com a expressão (15) pode-se determinar a matriz de susceptâncias $[B]$:

$$[B] = [a] \times [b] \times [a]^T$$

$$[B] = \begin{bmatrix} -22,5 & 10 & 0 & 12,5 \\ 10 & -40 & 10 & 20 \\ 0 & 10 & -22,5 & 12,5 \\ 12,5 & 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} j$$

Através da expressão (14) e utilizando os parâmetros da rede pode-se determinar o ângulo da tensão nos barramentos:

$$[P] = [B] \times [\theta] \Leftrightarrow \begin{bmatrix} 100 \\ -40 \\ 120 \\ -180 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -22,5 & 10 & 0 & 12,5 \\ 10 & -40 & 10 & 20 \\ 0 & 10 & -22,5 & 12,5 \\ 12,5 & 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}$$

Utilizando como referência o barramento 1, elimina-se a linha correspondente das matrizes e tem-se:

$$\begin{bmatrix} -40 \\ 120 \\ -180 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -40 & 10 & 20 \\ 10 & -22,5 & 12,5 \\ 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{cases} \theta_2 = -1,89222 \text{ rad} \\ \theta_3 = -1,56444 \text{ rad} \\ \theta_4 = -0,50222 \text{ rad} \end{cases}$$

Através da expressão (14) pode-se determinar o fluxo de potência nos ramos:

$$P_{ij} = B_{ij} \times \theta_{ij} \rightarrow \begin{array}{rcl} P_{12} & = & 34,14 \text{ MW} \\ P_{14} & = & 65,86 \text{ MW} \\ P_{23} & = & -43,00 \text{ MW} \\ P_{24} & = & 37,14 \text{ MW} \\ P_{34} & = & 77,00 \text{ MW} \end{array}$$

Resultando no seguinte fluxo de potência demonstrado na Figura 3-4.

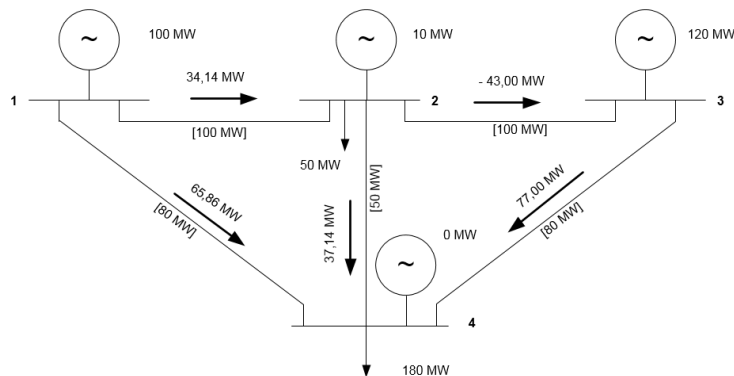


FIGURA 3-4 – RESOLUÇÃO DE POTÊNCIAS NA REDE.

Seguidamente, suponha-se que existe um aumento de consumo de 10 MW no barramento 4 e que a produção é suportada totalmente pelo barramento 1, conforme ilustrado na Figura 3-5.

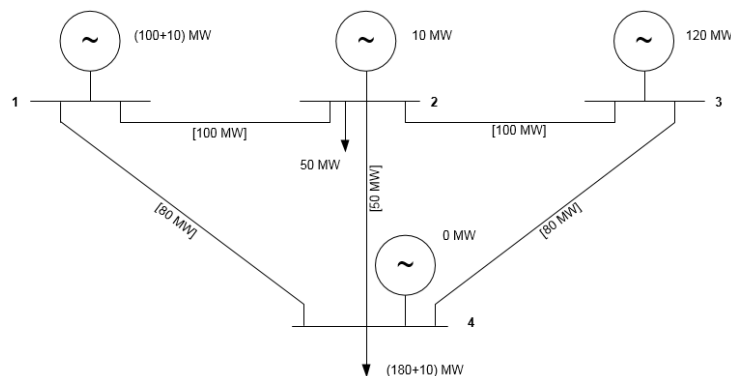


FIGURA 3-5 – AUMENTO DE POTÊNCIA NA REDE

Procedeu-se ao cálculo, neste caso colocando como referência o barramento 2, elimina-se a linha da matriz correspondente ao barramento 2, obtendo-se:

$$\begin{bmatrix} 100 + 10 \\ 120 \\ -180 - 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -22,5 & 0 & 12,5 \\ 0 & -22,5 & 12,5 \\ 12,5 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{matrix} \theta_1 = -1,89222 \text{ rad} \\ \theta_3 = -1,56444 \text{ rad} \\ \theta_4 = -0,50222 \text{ rad} \end{matrix}$$

Através da expressão (14) pode-se determinar o fluxo de potência nos ramos:

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= 37,79 \text{ MW} \\
 P_{14} &= 72,21 \text{ MW} \\
 P_{ij} = B_{ij} \times \theta_{ij} &\rightarrow P_{23} = -42,21 \text{ MW} \\
 P_{24} &= 40,00 \text{ MW} \\
 P_{34} &= 77,79 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Como resultado, obtém-se o seguinte fluxo de potências, conforme ilustrado na Figura 3-6.

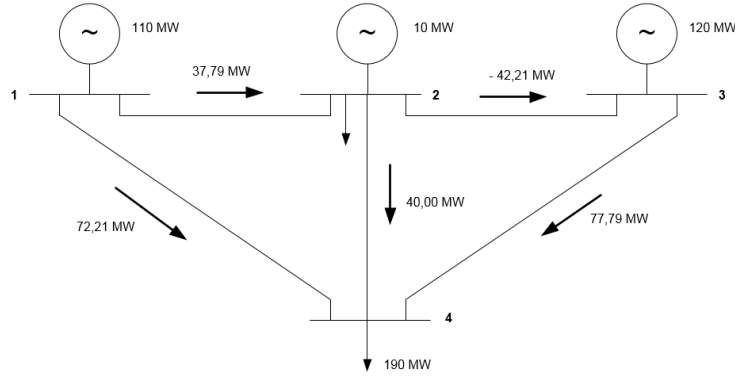


FIGURA 3-6 – RESOLUÇÃO DO AUMENTO DE POTÊNCIA

3.2.2 MATRIZ DE SENSIBILIDADE

A aplicação da matriz de sensibilidade em cálculos de trânsitos de potência ativa em sistema linearizados (recorrendo ao método DC) pode simplificar a obtenção dos resultados [3]. Deste modo, pode-se efetuar a formulação da expressão (15), enunciada anteriormente, em ordem aos ângulos, conforme demonstrado na expressão (19) abaixo:

$$[\theta] = [B]^{-1} \times [P] \quad (19)$$

No entanto, o sistema apresentado na expressão (19) não tem solução, visto que a matriz de susceptâncias é uma matriz singular.

Para que este sistema tenha solução, é necessário eliminar uma das equações. É comum adotar-se um barramento que já tem o ângulo conhecido, tal como o ângulo do barramento de referência (que é igual a zero $\theta_{ref} = 0$).

Assim, as expressões (14) e (17) podem ser reescritas em função do barramento de referência, mas com uma equação a menos (a equação do barramento de referência):

$$[P^r] = [B^r] \times [\theta^r] \quad (20)$$

E:

$$[\theta^r] = [B^r]^{-1} \times [P^r] \quad (21)$$

A Matriz de Sensibilidade com referência a um barramento (A^r), pode ser determinada através da expressão (22):

$$[A^r] = [b] \times [a^r]^T \times [B^r]^{-1} \quad (22)$$

$[A^r]$ – Matriz de Sensibilidade com referência ao barramento r

$[b]$ – Matriz de admitâncias primitivas

$[a^r]^T$ – Transposta da matriz de incidência com referência ao barramento r

$[B^r]^{-1}$ – Inversa da matriz de susceptâncias com referência ao barramento r

Uma vez determinada a matriz de sensibilidade com referência a um barramento ($[A^r]$) é possível escolher outro barramento como referência através da expressão (23).

$$[A_{r,n}^p] = A_{r,n}^r - A_{r,p}^r \quad (23)$$

$[A^p]$ – Matriz de Sensibilidade com referência ao novo barramento p

$A_{r,n}^p$ – Elemento da matriz de sensibilidade com referência ao novo b

$A_{r,n}^r$ – Posição da matriz de sensibilidade com referência ao barramento atual

$A_{r,p}^r$ – Posição da matriz de sensibilidade do barramento de nova referência

Assim o vetor das potências injetadas nos ramos pode ser facilmente determinado através da expressão (24) :

$$[P_L] = [A^r] \times [P] \quad (24)$$

3.2.2.1 EXEMPLO DE CÁLCULO COM MATRIZ DE SENSIBILIDADE

Utilizando a rede definida na secção 3.2.1, podemos apresentar:

- A matriz de admitâncias primitivas ($[b]$):

$$[b] = \begin{bmatrix} -10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12,5 \end{bmatrix} j$$

- A matriz de incidência ([a]):

$$[a] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

- A matriz de incidência ([a]^T):

$$[a]^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

- A matriz de susceptâncias [B]:

$$[B] = \begin{bmatrix} -22,5 & 10 & 0 & 12,5 \\ 10 & -40 & 10 & 20 \\ 0 & 10 & -22,5 & 12,5 \\ 12,5 & 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} j$$

A matriz de sensibilidade ([A^r]), pode ser determinada pela expressão (22):

$$[A^r] = [b] \times [a^r]^T \times [B^r]^{-1}$$

Conforme explicado anteriormente teremos que utilizar um barramento de referência para eliminar uma das equações e o sistema ser possível de determinar. Utilizaremos a referência no barramento 1.

$$[A^1] = [b] \times [a^1]^T \times [B^r]^{-1}$$

$$[A^1] = \begin{bmatrix} -10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12,5 \end{bmatrix} j \times \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -22,5 & 10 & 0 & 12,5 \\ 10 & -40 & 10 & 20 \\ 0 & 10 & -22,5 & 12,5 \\ 12,5 & 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} j$$

Eliminando os dados de referência do barramento 1 (indicados com a cor azul acima), temos:

$$[A^1] = \begin{bmatrix} -10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12,5 \end{bmatrix} j \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} -40 & 10 & 20 \\ 10 & -22,5 & 12,5 \\ 20 & 12,5 & -45 \end{bmatrix} j$$

Obtém-se assim a matriz de sensibilidade com referência ao barramento 1 $[A^1]$:

$$[A^1] = \begin{bmatrix} -0,5437 & -0,4444 & -0,3651 \\ -0,4563 & -0,5556 & -0,6349 \\ 0,0992 & -0,4444 & -0,0794 \\ 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ 0,0992 & 0,5556 & -0,0794 \end{bmatrix}$$

Devemos completar os valores da matriz com os valores nulos do barramento de referência.

$$[A^1] = \begin{bmatrix} 0 & -0,5437 & -0,4444 & -0,3651 \\ 0 & -0,4563 & -0,5556 & -0,6349 \\ 0 & 0,0992 & -0,4444 & -0,0794 \\ 0 & 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ 0 & 0,0992 & 0,5556 & -0,0794 \end{bmatrix}$$

É possível também efetuar os cálculos com base em outros barramentos como referência. Se utilizássemos o barramento 2, 3 ou 4 como referência sendo necessário aplicar a expressão (23), obtendo assim as matrizes:

$$[A^1] = \begin{bmatrix} 0 & -0,5437 & -0,4444 & -0,3651 \\ 0 & -0,4563 & -0,5556 & -0,6349 \\ 0 & 0,0992 & -0,4444 & -0,0794 \\ 0 & 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ 0 & 0,0992 & 0,5556 & -0,0794 \end{bmatrix}$$

$$[A^2] = \begin{bmatrix} 0,5437 & 0 & 0,0993 & 0,1786 \\ 0,4563 & 0 & -0,0993 & -0,1786 \\ -0,0992 & 0 & -0,5436 & -0,1786 \\ -0,3571 & 0 & -0,3571 & -0,6428 \\ -0,0992 & 0 & 0,4564 & -0,1786 \end{bmatrix}$$

Note que, expressão (23) :

$$\begin{aligned} [A_{r,n}^p] &= A_{r,n}^r - A_{r,p}^r \\ [A_{1,1}^2] &= A_{1,1}^1 - A_{1,2}^1 \\ [A_{1,2}^2] &= A_{1,2}^1 - A_{1,2}^1 \\ [A_{1,3}^2] &= A_{1,3}^1 - A_{1,2}^1 \\ [A_{1,4}^2] &= A_{1,4}^1 - A_{1,2}^1 \end{aligned}$$

$$[A^3] = \begin{bmatrix} 0,4444 & -0,0993 & 0 & 0,0793 \\ 0,5556 & 0,0993 & 0 & -0,0793 \\ 0,4444 & 0,5436 & 0 & 0,3650 \\ 0 & 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ -0,5556 & -0,4564 & 0 & -0,6350 \end{bmatrix}$$

$$[A^4] = \begin{bmatrix} 0,3651 & -0,1786 & -0,0793 & 0 \\ 0,6349 & 0,1786 & 0,0793 & 0 \\ 0,0794 & 0,1786 & -0,3650 & 0 \\ 0,2857 & 0,6428 & 0,2857 & 0 \\ 0,0794 & 0,1786 & 0,6350 & 0 \end{bmatrix}$$

Todos os cálculos efetuados na secção 3.2.1, podem ser efetuados utilizando a matriz de sensibilidade.

Através da expressão (24) pode-se determinar o vetor de potências dos ramos, com referência ao barramento 1, para o caso base:

$$[P_L] = [A^1] \times [P]$$

$$\begin{bmatrix} P_{12} \\ P_{14} \\ P_{23} \\ P_{24} \\ P_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -0,5437 & -0,4444 & -0,3651 \\ 0 & -0,4563 & -0,5556 & -0,6349 \\ 0 & 0,0992 & -0,4444 & -0,0794 \\ 0 & 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ 0 & 0,0992 & 0,5556 & -0,0794 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 100 \\ -40 \\ 120 \\ -180 \end{bmatrix}$$

Resultando no seguinte fluxo de potência nas linhas :

$$\begin{aligned} P_{12} &= 34,14 \text{ MW} \\ P_{14} &= 65,86 \text{ MW} \\ P_{23} &= -43,00 \text{ MW} \\ P_{24} &= 37,14 \text{ MW} \\ P_{34} &= 77,00 \text{ MW} \end{aligned}$$

Para o caso do aumento de 10 [MW] no barramento 4, sendo que a produção é suportada totalmente pelo barramento 1, efetuou-se o cálculo utilizando o barramento 3 como referência, note-se que utilizou-se outro barramento como referência aplicando a expressão (23), conforme já explicado anteriormente.

$$[P_L] = [A^3] \times [P]$$

$$\begin{bmatrix} P_{12} \\ P_{14} \\ P_{23} \\ P_{24} \\ P_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4444 & -0,0993 & 0 & 0,0793 \\ 0,5556 & 0,0993 & 0 & -0,0793 \\ 0,4444 & 0,5436 & 0 & 0,3650 \\ 0 & 0,3571 & 0 & -0,2857 \\ -0,5556 & -0,4564 & 0 & -0,6350 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 100 + 10 \\ -40 \\ 120 \\ -180 - 10 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} P_{12} &= 37,79 \text{ MW} \\ P_{14} &= 72,21 \text{ MW} \\ P_{23} &= -42,21 \text{ MW} \\ P_{24} &= 40,00 \text{ MW} \\ P_{34} &= 77,79 \text{ MW} \end{aligned}$$

3.2.3 FATORES DE DISTRIBUIÇÃO E MÁXIMO LIMITE DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

A determinação dos limites de importação / exportação entre dois sistemas pode ser efetuado pelo PSS®E através da função SPIL (*Sequential Participation Interchange Limits*) utilizando os fatores de distribuição [4].

Os fatores de distribuição ($F_{r,c}^n$) relacionam as variações do trânsito de potência ativa nos ramos com as injeções de potência ativa nos nós em estudo, podendo estas injeções estar sujeitas a uma lista de contingências. Os fatores de distribuição são calculados através da expressão (25):

$$F_{r,c}^n = \frac{\Delta P_{r,c}^n}{\Delta P^n} \quad (25)$$

$F_{r,c}^n$ – Fator de distribuição do ramo em relação ao nó n e a contingência c

$\Delta P_{r,c}^n$ – Variação do trânsito de potência ramo r devido a injeção ΔP no nó para a contingência c

ΔP^n – Variação do trânsito de potência no nó n

O PSS®E efetua progressivamente o aumento de injeção, até o valor estipulado na função SPIL e guarda a informação dos ramos que entram em sobrecarga, bem como o valor da Injeção Máxima do nó ($\Delta P_{SPIL,r}^n$), apresentada na expressão (26):

$$\Delta P_{SPIL,r}^n = \frac{P_{ik(Máx)} - P_{ik\ base}}{F_{r,c}^n}, \text{ se } F_{r,c}^n > 0$$

$$\Delta P_{SPIL,r}^n = - \left(\frac{P_{ik(Máx)} - P_{ik\ base}}{F_{r,c}^n} \right), \text{ se } F_{r,c}^n < 0 \quad (26)$$

$\Delta P_{SPIL,r}^n$ – Injeção Máxima do nó n para o ramo r

$P_{ik(Máx)}$ – Potência máxima que é possível transitar no ramo

$P_{ik\ (base)}$ – Potência inicial do caso base do ramo ik

O Anexo 1 apresenta os procedimentos para a configuração e obtenção dos resultados da função SPIL do PSS®E.

De acordo com a formulação acima enunciada, é possível estabelecer uma matriz denominada Matriz de Transferência de Carga, que produz o mesmo efeito que a função SPIL. Enquanto que na função SPIL os valores de máxima injeção podem ser sujeitos a uma lista de contingências e também a uma condição de que nenhum ramo

exceda a uma percentagem do valor que se pretende injetar no sistema em estudo, a Matriz de Transferência de Carga utiliza somente os valores da limitação dos ramos.

Na situação em que na análise *SPIL* não são impostas nenhuma restrições indicada no parágrafo anterior, os fatores de distribuição são os valores dos elementos da Matriz de Transferência de Carga.

Convém salientar que será explicado o método para a transferência de carga onde o sistema em estudo será somente um barramento e o sistema em oposição serão todos os outros barramentos de injeção e que o aumento de produção de barramento do conjunto $\{s\}$ (*Estudo*), é suportado pela redução de produção dos barramentos do conjunto $\{o\}$ (*Oposição*).

De seguida são indicados os passos efetuados para obtenção da Matriz de Transferência de Carga:

- a) São determinados os fatores de redução homotética de cada barramento, conforme expressão (27).

$$\gamma_{barr} = \frac{P_{gen_{barr}}}{\sum_{P \in \{o\}} P_{gen}} \quad (27)$$

- b) A redução homotética associada a sensibilidade dos barramentos do conjunto $\{o\}$ (oposição), será dada pela expressão (28).

$$\Delta\gamma_{\{o\}} = \sum \gamma_{barr} \times A_{ij} \quad (28)$$

- c) Determinação da Matriz de Transferência de Carga

$$T_r^n = A_{ij} - \Delta\gamma_{\{o\}} \quad (29)$$

- d) Determinação da Matriz de Capacidade de Receção.

$$\Delta P_{Max_r^n} = \frac{\Delta P_{r_{max}}}{T_r^n} \quad (30)$$

Onde,

$$\Delta P \text{ Max}_r^n = \frac{-P_{ik(\text{Máx})} - P_{ik \text{ base}}}{T_r^n} \text{ para } T_r^n < 0 \quad (31)$$

$$\Delta P \text{ Max}_r^n = \frac{P_{ik(\text{Máx})} - P_{ik \text{ base}}}{T_r^n} \text{ para } T_r^n > 0 \quad (32)$$

γ_{barr} – fatores de redução homotética dos barramentos em oposição

$\Delta\gamma_{\{o\}}$ – Redução homotética associada a sensibilidade dos barramentos em oposição

T_r^n – Elementos da matriz de transferência de carga

$\Delta P \text{ Max}_n$ – Elementos da matriz da capacidade de receção

$P_{ik(\text{Máx})}$ – Potência máxima que é possível transitar no ramo ik

$P_{ik(\text{base})}$ – Potencia inicial do caso base do ramo ik

3.2.4 EXEMPLO DE CÁLCULO FATORES DE DISTRIBUIÇÃO E MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

Para exemplificação do cálculo dos fatores de distribuição e matriz de transferência de carga, utilizar-se-á a rede de 4 barramento ilustrada na Figura 3-7, onde será considerado que o sistema em estudo é o barramento 2 e o sistema em oposição composto pelos barramentos 1, 3 e 4.

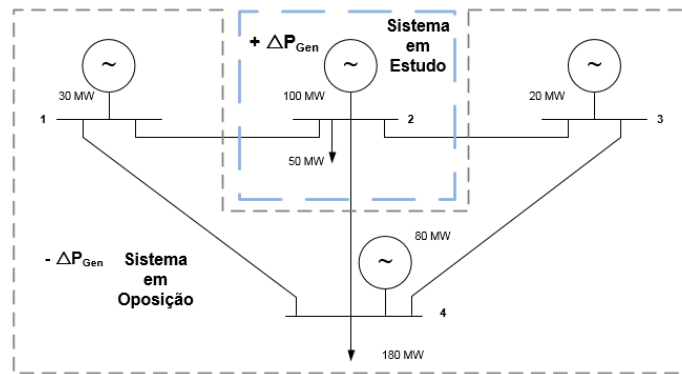


FIGURA 3-7 – BARRAMENTO EM ESTUDO E BARRAMENTOS EM OPOSIÇÃO

Os valores das reatâncias das linhas (X_{ik}) e limites de potências máximas dos ramos ($P_{ik(\text{Máx})}$) estão descritas na Tabela 3-1.

TABELA 3-1 CARACTERÍSTICAS DA REDE DE 4 BARRAMENTOS.

RAMOS	$X_{ik} (pu)$	$P_{ik(Máx)} (MW)$
1 - 2	0,10	100,00
1 - 4	0,08	80,00
2 - 3	0,10	100,00
2 - 4	0,05	50,00
3 - 4	0,08	80,00

X_{ik} – Reatância da linha ik

$P_{ik(Máx)}$ – Potência máxima que é possível transitar no ramo ik

A Tabela 3-2, apresenta o valor das potências geradas, consumidas e injetadas nos barramentos, para o caso base.

TABELA 3-2 POTÊNCIAS GERADAS, CONSUMIDAS E INJETADAS NA REDE 4 BARRAMENTOS

BARRAMENTOS	$P_i^G (MW)$	$P_i^C (MW)$	$P_i^I (MW)$
1	30,0	0,0	100,0
2	100,0	50,0	-40,0
3	20,0	0,0	120,0
4	80,0	180,0	-180,0

P_i^G – Potência gerada no barramento i

P_i^C – Potência consumida no barramento i

P_i^I – Potência injetada no barramento i

Pretende-se determinar a viabilidade da geração adicional de 50 MW no barramento 2.

Deste modo, tem-se que calcular os fatores de redução homotética (γ_{barr}) para cada barramento, através da expressão (27), conforme demonstrado na Tabela 3-3.

TABELA 3-3 REDUÇÃO HOMOTÉTICA REDE 4 BARRAMENTOS

BARRAMENTOS	REDUÇÃO HOMOTÉTICA			
	P_i^G	(γ_{barr})	ΔP_i^G	$P_i^G (Novo)$
1	30,0	0,23	-11,5	18,50
2	100,0	0,00	50,0	150,0
3	20,0	0,15	-7,7	12,3
4	80,0	0,62	30,8	49,2
TOTAIS	230,0	1	0,0	230,0

Através da expressão (28) são determinados os novos valores de injeção nos barramentos, conforme demonstrado na Tabela 3-4.

TABELA 3-4 REDUÇÃO HOMOTÉTICA POTÊNCIAS INJETADAS REDE 4 BARRAMENTOS

BARRAMENTOS	REDUÇÃO HOMOTÉTICA		
	P_i^G	P_i^C	P_i^I
1	18,50	0	18,5
2	150	50	100
3	12,3	0	12,3
4	49,2	180	-130,8
TOTAIS	230	230,0	0,0

Para a determinação da matriz de transferência de carga é necessário calcular a redução homotética associada a sensibilidade dos barramentos do conjunto $\{o\}$ (oposição), conforme expressão (28).

$$\Delta\gamma_{\{o\}} = \sum \gamma_{barr} \times A_{ij}$$

Utilizar-se-ão os valores da matriz de sensibilidade com referência ao 4, identificada na secção 3.2.2.1, conforme Tabela 3-5.

TABELA 3-5 MATRIZ DE SENSIBILIDADE COM REFERÊNCIA AO BARRAMENTO 4

$[A^4]$		BARRAMENTOS			
		1	2	3	4
ramos	1 - 2	0,3651	-0,1786	-0,0793	0,0000
	1 - 4	0,6349	0,1786	0,0793	0,0000
	2 - 3	0,0794	0,1786	-0,3650	0,0000
	2 - 4	0,2857	0,6428	0,2857	0,0000
	3 - 4	0,0794	0,1786	0,6350	0,0000

Desta forma, os valores da redução homotética associada a sensibilidade $\Delta\gamma_{\{o\}}$ são apresentadas na Tabela 3-6.

TABELA 3-6 REDUÇÃO HOMOTÉTICA ASSOCIADA À SENSIBILIDADE

BARRAMENTOS		1	2	3	4	$\Delta\gamma_{\{0\}}$
$\gamma_{barr} \rightarrow$		0,23	0,00	0,15	0,62	
RAMOS	1 - 2	0,3651	-0,1786	-0,0793	0,0000	0,0721
	1 - 4	0,6349	0,1786	0,0793	0,0000	0,1587
	2 - 3	0,0794	0,1786	-0,3650	0,0000	-0,0378
	2 - 4	0,29	0,64	0,29	0,00	0,1099
	3 - 4	0,0794	0,1786	0,6350	0,0000	0,1160

Exemplo de cálculo para o ramo 2 – 4:

$$\Delta\gamma_{(2-4)} = (0,23 \times 0,2857) + (0 \times 0,6428) + (0,15 \times 0,2857) + (0,62 \times 0,00)$$

$$\Delta\gamma_{(2-4)} = 0,1099$$

Assim a matriz de transferência de carga $[T_r^n]$, apresentada na Tabela 3-7, pode ser determinada através da expressão (29).

$$T_r^n = A_{ij} - \Delta\gamma_{\{0\}}$$

TABELA 3-7 MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

T_r^n		BARRAMENTOS			
		1	2	3	4
RAMOS	1 - 2	0,2930	-0,2507	-0,1514	-0,0721
	1 - 4	0,4762	0,0199	-0,0794	-0,1587
	2 - 3	0,1172	0,2164	-0,3272	0,0378
	2 - 4	0,1758	0,5329	0,1758	-0,1099
	3 - 4	-0,0366	0,0626	0,5190	-0,1160

Exemplo de cálculo para o ramo 2 - 4 do barramento 2:

$$T_{(2-4)}^2 = A_{(2-4)}^4 - \Delta\gamma_{(1-4)}$$

$$T_{(2-4)}^2 = 0,6428 - 0,1099 = 0,5329$$

Calculando o trânsito de potência, através do método indicado na secção 3.2.2.1, com um aumento de 50 MW no barramento 2 e consequente redução homotética nos outros barramentos, verifica-se que o ramo 2 - 4 encontra-se em sobrecarga, conforme demonstrado na Tabela 3-8.

TABELA 3-8 TRÂNSITO POTÊNCIA NOS RAMOS REDE 4 BARRAMENTOS

	$P_{ik(Novo)}$	$P_{ik(Máx)}$
1 - 2	-12,10	100,00
1 - 4	30,56	80,00
2 - 3	14,83	100,00
2 - 4	73,07	50,00
3 - 4	27,14	80,00

Podem-se calcular quais os valores máximos de injeção nos barramentos, que não violam os limites das linhas, de acordo com a expressão (30).

$$\Delta P \text{ Max}_r^n = \frac{\Delta P_r \text{ máx}}{T_r^n}$$

Na Tabela 3-9 apresentam-se os cálculos para os valores máximos do barramento 2.

TABELA 3-9 CÁLCULO DO VALOR MÁXIMO DE INJEÇÃO BARRAMENTO 2

RAMOS	$P_{ik(base)}$	$P_{ik(Máx)}$	T_r^n	$\Delta P \text{ Max}_r^n$
1 - 2	0,4	100,00	-0,2507	400,7
1 - 4	29,6	80,00	0,0199	2536,5
2 - 3	4,0	100,00	0,2164	443,5
2 - 4	46,4	50,00	0,5329	6,7
3 - 4	24,0	80,00	0,0626	894,6

Exemplo para o barramento 2, ramo 2 - 4:

$$\Delta P \text{ Max}_r^n = \frac{\Delta P_r \text{ máx}}{T_r^n}$$

$$\Delta P \text{ Max}_r^n = \frac{P_{ik(Máx)} - P_{ik(base)}}{T_r^n} \text{ para } T_r^n > 0$$

$$\Delta P \text{ Max}_{(2-4)}^2 = \frac{50 - 46,4}{0,5329} = 6,7 \text{ MW}$$

Isto quer dizer que o adicional de potência máxima que é possível injetar no barramento 2 é de 6,7 MW.

Utilizando as informações do Anexo 1, foi analisada a rede acima enunciada. O Anexo 25, apresentam os dados da análise *SPIL* para o barramento 2 da rede de 4 barramentos.

Como não foram indicadas quaisquer restrições ao nível de contingências para a análise *SPIL*, podemos comparar os valores do Anexo 25 com a matriz de transferência de carga (Tabela 3-7) e os valores máximos de injeção do barramento 2, (Tabela 3-9).

Verifica-se que tanto os valores de incremento adicional como os valores dos fatores de distribuição são iguais (excluindo-se pequenos arredondamentos), A Figura 3-8 apresenta alguns valores do Anexo 25, para comparação com a Tabela 3-7 e Tabela 3-9.

LOADINGS AT OR ABOVE 100.0 %
OF RATING ARE MARKED WITH '*'

<----- F R O M ----->						<----- T O ----->						<----- BASE CASE ----->					
					CKT							INCR. TRANS	RATING	PRE- SHIFT	POST- SHIFT	LIMIT CASE	DISTR.
												CAPAB	1	MW	MW	MW	FACTOR
2	BUS2	220.00	4	BUS4	220.00	1	6.7	50	46.4	115.7*	50.0*	0.53297					
1	BUS1	220.00	2	BUS2	220.00	1	400.7	100	0.4	-32.1	-1.2	-0.25063					
2	BUS2	220.00	3	BUS3	220.00	1	443.6	100	4.0	32.1	5.5	0.21640					
3	BUS3	220.00	4	BUS4	220.00	1	894.4	80	24.0	32.1	24.4	0.06260					
1	BUS1	220.00	4	BUS4	220.00	1	2544.0	80	29.6	32.1	29.7	0.01983					

FIGURA 3-8 – VALORES DO SPIL PARA O BARRAMENTO 2.

Ao efetuar a injeção de potência adicional no barramento 2 e reduzindo os valores de injeção nos outros barramentos através do método homotética, demonstrado na Tabela 3-10, verifica-se que o trânsito de potência no ramo 2 – 5 é posto no limite, Tabela 3-11.

TABELA 3-10 TESTE DE INJEÇÃO MÁXIMA NO BARRAMENTO 2 DA REDE DE 4 BARRAMENTOS

BARRAMENTOS	INJEÇÃO INICIAL	INJEÇÃO MÁXIMA
1	100,00	83,63
2	10,00	46,01
3	120,00	100,36
4	0,00	0,00

TABELA 3-11 TESTE DE INJEÇÃO MÁXIMA NO BARRAMENTO 2 DA REDE DE 4 BARRAMENTOS

RAMOS	$P_{ik(Novo)}$ MW	$P_{ik(Máx)}$ MW
1 - 2	23,29	100,00
1 - 4	60,34	80,00
2 - 3	-30,70	100,00
2 - 4	50,00	50,00
3 - 4	69,65	80,00

Efetuada este procedimento para todos os barramentos, pode-se determinar uma Matriz da Capacidade Máxima de Receção $[\Delta P Max_r^n]$, através de injeções simultâneas e redução homotética, conforme demonstrado na Tabela 3-12.

TABELA 3-12 MATRIZ CAPACIDADE MÁXIMA DE RECEÇÃO

$\Delta P Max_r^n$		BARRAMENTOS			
		1	2	3	4
LINHAS	1 - 2	215,35	400,7	2160,1	1758,4
	1 - 4	93,81	2536,5	1136,0	426,9
	2 - 3	3608,57	443,5	225,4	1205,5
	2 - 4	1502,65	6,7	1575,3	184,1
	3 - 4	1417,06	894,6	103,9	473,6

A Tabela 3-13, apresenta o resumo da capacidade máxima de injeção nodal na rede de 4 barramentos.

TABELA 3-13 MÁXIMA INJEÇÃO NODAL REDE 4 BARRAMENTOS

BARRAMENTO	P Max	Limitação
1	93,81	1 - 4
2	6,7	2 - 4
3	103,90	3 - 4
4	184,1	2 - 4

3.3 PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

No início dos anos 90 o biólogo Frank Heppner publicou um estudo onde descreveu um modelo do comportamento coletivo dos bandos de pássaros [5].

Resumidamente este estudo descrevia um modelo do comportamento social dos bandos. No modelo apresentado, os pássaros eram distribuídos aleatoriamente num espaço com o objetivo de procurar alimentos ou um local para fazer o ninho.

Inicialmente os pássaros voavam aleatoriamente pelo espaço. Quando um pássaro encontrava um alimento ou um local para o ninho, os pássaros na vizinhança, recebiam esta informação e alteravam a sua trajetória. À medida que vão se localizando alimentos ou locais para o ninho, o bando partilhava esta informação na vizinhança e no coletivo. Assim, os locais onde estiverem a maior concentração de

pássaros são entendidos como locais onde haverá mais alimento ou o melhor local para construir os ninhos.

Em 1995, o psicólogo James Kennedy e o engenheiro eletrotécnico Russel Eberhart, desenvolveram um algoritmo de otimização [6] baseado no estudo de Frank Heppner. Neste algoritmo, o PSO, do inglês *Particle Swarm Optimization* (Otimização por Enxame ou Nuvem de Partículas), cada indivíduo é chamado de partícula e é uma solução possível para o problema.

Cada uma das partículas, desloca-se num espaço de n dimensões. À semelhança dos pássaros, o deslocamento de cada partícula é efetuada de acordo com a melhor posição por ela encontrada (conhecimento individual) e a melhor posição do grupo (conhecimento coletivo).

Após o deslocamento, as partículas são avaliadas e a sua posição e velocidade são alteradas, com base no conhecimento individual e coletivo e outros parâmetros, os quais se enunciam de seguida.

3.3.1 TERMINOLOGIA

De acordo com as definições apresentadas por R.Eberhart, J. Kennedy e Y. Shi [7] [8], e mais tarde por Luís Costa [2], descrever-se-á os principais termos utilizados no PSO:

- **SWARM OU ENXAME:** População ou nuvem de partículas do algoritmo;
- **PARTÍCULA:** Indivíduo da população. Cada partícula possui uma determinada posição no espaço de busca do problema e esta posição representa uma solução exequível do problema;
- **VELOCIDADE:** É a responsável por comandar o processo de otimização (busca de soluções); a velocidade de uma partícula determina a direção na qual ela se movimentará, com o objetivo de melhorar a sua posição atual. Ela é atualizada, a cada iteração, de acordo com a informação disponível, sendo que esta atualização varia de acordo com a estratégia utilizada;
- **PBEST:** Melhor posição (solução) já alcançada pela partícula;
- **LBEST:** Melhor posição (solução) já alcançada por uma partícula pertencente à vizinhança de uma determinada partícula;
- **GBEST:** Melhor posição (solução) já alcançada por uma partícula de toda população.

- **LÍDERES:** Partículas da população que possuem os melhores valores da função objetivo do problema (*PBEST*, *LBEST* e *GBEST*);
- **COEFICIENTE DE INÉRCIA (w):** É usado para controlar a influência dos valores anteriores da velocidade no cálculo da velocidade atual;
- **FATOR DE INDIVIDUALIDADE (c_1):** Influência a atração que a partícula sofre em direção à melhor posição já encontrada por ela mesma (*PBEST*);
- **FATOR DE SOCIABILIDADE (c_2):** Influência a atração que a partícula sofre em direção à melhor posição já encontrada por qualquer partícula vizinha a ela (*LBEST* e/ou *GBEST*), dependendo da topologia.
- **TOPOLOGIA DA VIZINHANÇA:** Determina o conjunto de partículas usado como vizinhança de uma determinada partícula.

3.3.2 TOPOLOGIA DA VIZINHANÇA

Outro aspecto importante neste algoritmo é o conceito de vizinhança. Uma partícula pode receber informações apenas das partículas mais próximas ou pode receber informações de todas as partículas. A escolha do tipo de topologia da vizinhança está relacionada com o tipo de problema a resolver e determinará a forma como o espaço é explorado.

As diversas topologias são apresentadas de seguida:

3.3.2.1 GRAFO VAZIO

Nesta vizinhança a partícula está conectada somente a ela mesma. Assim, não há influência das restantes partículas no seu movimento.

3.3.2.2 MELHOR LOCAL

A partícula em análise está ligada a n partículas. Destas n partículas uma apresenta a melhor posição. Assim todas as partículas da vizinhança serão influenciadas por esta. Quando $n=2$ esta topologia é conhecida por em anel, conforme ilustra a Figura 3-9. Uma partícula está ligada somente a duas partículas. A vizinhança é dinâmica, isto é, se a partícula se afastar das duas partículas a que está ligada e se aproximar de outras, a sua vizinhança poderá ser alterada. No seu movimento, a partícula utiliza o seu conhecimento (*PBEST*) e o conhecimento das partículas vizinhas (*LBEST*) para desenvolver a procura de soluções.

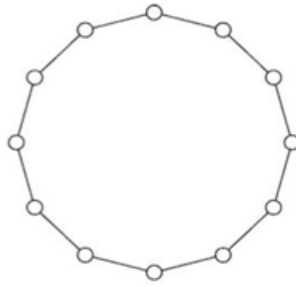


FIGURA 3-9 – PSO TOPOLOGIA EM ANEL

3.3.2.3 ESTRELA

Nesta topologia, todas as partículas estão ligadas somente a uma partícula denominada partícula focal, veja-se a Figura 3-10. O algoritmo compara a posição de todas as partículas e movimenta-se de acordo com a melhor partícula. As restantes partículas movimentam-se de acordo com a partícula focal. O posicionamento das partículas é feito sempre com base na melhor posicionada e na partícula focal. Deste modo, a informação da melhor partícula é passada rapidamente às restantes.

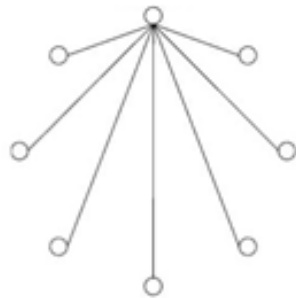


FIGURA 3-10 – PSO TOPOLOGIA EM ESTRELA

3.3.2.4 ÁRVORE

Nesta topologia, como o próprio nome indica, as partículas são organizadas em árvore, veja-se a Figura 3-11. Cada nó “pai” tem dois “filhos” que são influenciados somente pelo nó “pai”. Os nós “pai” nunca são influenciados pelos “filhos”. Quando um nó “filho” tem melhor posicionamento que o nó “pai”, os mesmos trocam de posição. A posição dos nós “pai” utiliza o conhecimento do *LBEST* e *GBEST*.

Nesta topologia é garantida que os nós superiores na hierarquia tenham um posicionamento melhor que os nós inferiores.

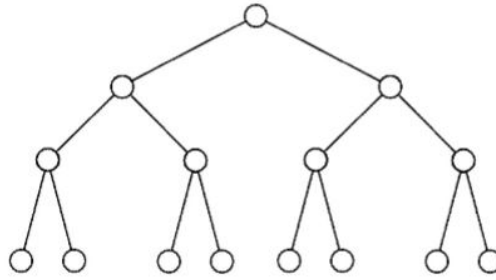


FIGURA 3-11 – PSO TOPOLOGIA EM ÁRVORE

3.3.2.5 GRAFO COMPLETAMENTE LIGADO

Ao contrário da topologia grafo vazio, nesta topologia todas as partículas estão ligadas entre si, veja-se a Figura 3-12. Assim qualquer partícula pode utilizar o seu conhecimento *PBEST* e o conhecimento da melhor partícula *GBEST*. O espaço de busca alargado para todo o espaço, desta forma o $LBEST = GBEST$.

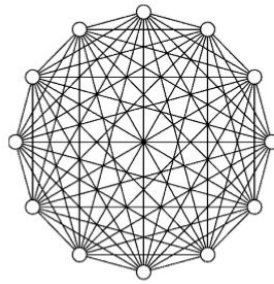


FIGURA 3-12 – PSO TOPOLOGIA GRAFO COMPLETAMENTE LIGADO

3.3.2.6 IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO

Conforme descrito anteriormente, no algoritmo PSO, para cada possível solução para o problema corresponde a uma partícula. Uma vez definido um conjunto de soluções possíveis, i.e., partículas vão percorrem aleatoriamente o espaço de busca (espaço dimensional). Depois das partículas serem distribuídas pelo espaço de busca, as mesmas são avaliadas através de uma função objetivo, geralmente denominada de *Fitness*.

De seguida, inicia-se o ciclo de iterações onde são utilizadas as informações da posição e velocidade inicial, conhecimento individual e coletivo para determinar a nova posição de cada partícula.

Em cada iteração é determinada a velocidade da partícula para a próxima iteração, conforme descrito na expressão (33), supondo uma estrutura de vizinhança caracterizada por grafo complementar ligado (neste caso $LBEST = GBEST$):

$$v_{n,d}(t+1) = \omega \times v_{n,d} + c_1 r_1 (PBest_{n,d}(t) - x_{n,d}(t)) + c_2 r_2 (GBest_d - x_{n,d}(t)) \quad (33)$$

d – Espaço
 $v_{n,d}(t)$ – Velocidade da partícula n , na iteração t e dimensão d
 $x_{n,d}(t)$ – Posição da partícula n , na iteração t e dimensão d
 ω – Peso de Inércia
 c_1 – Coeficiente de confiança próprio
 c_2 – Coeficiente de confiança grupo
 r_1 ou r_2 – Números aleatórios
 $PBest_{n,d}$ – Melhor posição encontrada da partícula
 $GBest_d$ – Melhor posição encontrada do grupo

A posição de cada partícula para a próxima iteração será determinada com base na velocidade e posição atuais, conforme expressão (34).

$$x_{n,d}(t+1) = x_{n,d}(t) + v_{n,d}(t+1) \quad (34)$$

$x_{n,d}(t+1)$ – Posição da partícula n , para a próxima iteração
 $v_{n,d}(t+1)$ – Velocidade da partícula n , para a próxima iteração
 $x_{n,d}(t)$ – Posição da partícula n , na iteração t e dimensão d

Este ciclo de iterações repetir-se-á até que o número máximo de iterações seja atingido ou um outro critério de paragem seja satisfeito.

No final das iterações será apresentada a melhor solução para o problema ($GBEST$).

3.3.3 PARAMETRIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PSO

A correta aplicação e sucesso na utilização do PSO, depende de outros fatores além das características do problema, tais como a definição de alguns parâmetros. A seguir serão apresentados alguns parâmetros.

3.3.3.1 Inércia (ω)

O valor da inércia afeta diretamente o número de iterações para encontrar a solução ótima. Caso o valor da inércia seja baixo o número de iterações necessárias tenderá também a ser menor, tal como a convergência, que tenderá a ser mais rápida e a favor de um valor mínimo local. Para o caso de valores de inércia altos a convergência é mais lenta e o número de iterações tende a ser maior.

Existem vários estudos sobre o valor da Inércia (ω). Alguns sugerem a utilização de um valor para ω entre 0,5 a 1,4 [9] com atualização durante as iterações. Estes estudos defendem a utilização quer de valores crescentes quer decrescentes e que sejam calibrados de acordo com o problema.

Com a utilização de um valor decrescente, numa fase inicial, o algoritmo terá uma capacidade de busca global mais forte, enquanto que numa fase final, com o valor da inércia menor, o algoritmo irá efetuar uma busca mais fina, junto do ótimo local (que poderá ser também ótimo global).

Vários trabalhos na literatura especializada têm usado um novo método, tais como os artigos de Zhao [10] e Shi e Eberhart [11]. A fórmula para determinar o peso da inércia linearmente decrescente é dada pela expressão (35) :

$$\omega = \omega_{max} - (\omega_{max} - \omega_{min}) \times \frac{\text{iteração}}{\text{iterações totais}} \quad (35)$$

Autores como Shayeghi, Mahdavi e Kazemi [12], determinam o peso da inércia decrescente com o aumento do número de iterações, utilizando a expressão (36):

$$\omega = \frac{1}{\ln(\text{iteração})} \quad (36)$$

Em 2003 Zheng et al. [13] utilizou o peso da inércia crescente no decorrer da execução do algoritmo, expressão (37):

$$\omega = \omega_{max} + (\omega_{min} - \omega_{max}) \times \frac{\text{iterações totais} - \text{iteração}}{\text{iterações totais}} \quad (37)$$

3.3.3.2 Números aleatórios (r_1, r_2)

Para r_1 e r_2 , utiliza-se um valor do intervalo $[0, 1]$ com distribuição uniforme.

3.3.3.3 Coeficiente de Confiança (c_1, c_2)

Normalmente o valor utilizado é 2, mas pode-se utilizar um valor do intervalo $[0, 4]$

3.3.3.4 Pesos c_1r_1 e c_2r_2

Escrevendo c_1r_1 como φ_1 e c_2r_2 φ_2 tem-se:

Se $\varphi_1 > 0$ e $\varphi_2 = 0 \Rightarrow$ apenas a confiança individual da partícula influencia a velocidade.

Se $\varphi_1 = 0$ e $\varphi_2 > 0 \Rightarrow$ apenas a confiança da partícula no enxame influencia a velocidade.

3.3.4 CONFINAMENTO DA POSIÇÃO

No trabalho desenvolvido, utilizou-se um método denominado “Confinamento da Posição” [14]. Se uma partícula tiver a tendência de sair do seu espaço de busca, ela será trazida para um ponto mais próximo e dentro desse espaço, que consequentemente mudará a sua velocidade, conforme expressão (38):

$$x_{n,d} \leftarrow \min(\max(x_{n,d} + v_{n,d}, x_{min}), x_{max}) \quad (38)$$

3.3.5 VARIANTES DO PSO

Este trabalho teve como base a utilização do PSO Genérico. Contudo, existem várias derivações do PSO [9] que também poderão ser analisadas e estudadas em trabalho futuro, como por exemplo: PSO Unificado (UPSO), PSO Evolucionário (EPSO), PSO Cooperativo (CPSO), PSO Memético (MPSO), PSO Composto (COMPSO), PSO Modificado (M-PSO), PSO com Convergência Garantida (GCPSO), Niching PSO (NPSO) e PSO Quântico (QPSO).

3.3.6 FLUXOGRAMA E EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PSO

Abaixo será efetuada uma explicação sobre os passos efetuados pelo algoritmo PSO, conforme Figura 3-13.

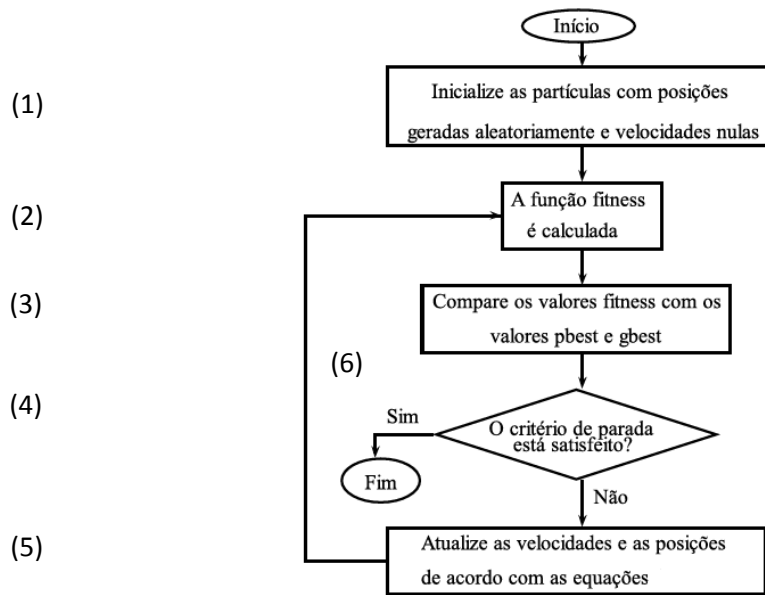


FIGURA 3-13 – ALGORITMO PSO GENÉRICO

3.3.6.1 FLUXOGRAMA

Passo 1

Iniciar o algoritmo com uma população de partículas, com posições e acelerações em um espaço de busca d-dimensional, distribuídas de forma uniforme e aleatoriamente;

Passo 2

Avaliar a função *Fitness* de cada partícula;

Passo 3

Comparar a função *Fitness* de cada partícula com seu valor *PBEST*. Se a função fitness possuir valor atual melhor que o valor *PBEST*, deve-se atualizar o valor *PBEST* para o valor atual e a localização do *PBEST* passa a ser a localização atual no espaço d-dimensional;

Passo 4

Comparar o valor *PBEST* com o valor *GBEST*. Se o valor *PBEST* é melhor do que o valor *GBEST*, então deve-se atualizar o *GBEST* para o índice e valor atual do *PBEST*;

Passo 5

Modificar a velocidade e a posição da partícula de acordo com as equações do movimento expressão (33) e (34);

Por último

Por último, regressar ao passo 2 e repetir o ciclo dos demais passos subsequentes, até que o critério de paragem seja satisfeito.

3.4 RESUMO

Conforme demonstrado neste Capítulo, a função *SPIL* do PSS®E utiliza uma formulação para determinar qual a quantidade de potência ativa que é possível transferir entre dois sistemas (estudo e oposição).

No caso particular de se utilizar esta técnica de modo a que o sistema em estudo seja apenas representado por um único barramento e o sistema em oposição seja representado por todos os outros barramentos da rede, pode-se utilizar este método para a determinação da máxima injeção nodal admissível.

O desenvolvimento da ferramenta informática pretende assim proporcionar uma alternativa à função *SPIL* do PSS®E e introduzir novas abortagens.

No caso da ferramenta desenvolvida, apesar do cálculo de trânsito de potência ser efetuado por um sistema de equações lineares, a sua resolução não identifica a máxima injeção nodal, sendo necessário utilizar uma ferramenta que procure o valor máximo da injeção nodal sujeito às seguintes restrições:

- I. Limites de exploração dos ramos (linhas e transformadores);
- II. Limites dos operação dos geradores;
- III. Outras restrições consideradas convenientes (limites do nó de balanço ou interligações).

Desta forma, optou-se por utilizar o PSO para gerar valores de injeção para os barramentos (soluções) que, através da avaliação da *Fitness*, permitirão identificar a máxima injeção nodal admissível, cumprindo o primeiro objetivo deste trabalho (determinar a máxima injeção nodal), enunciado na secção 3.1.

Do mesmo modo, e por forma a cumprir o segundo objetivo enunciado na secção 3.1. (simplificar a obtenção de resultados), pretende-se utilizar a ferramenta Python para obter os dados da rede a partir do modelo do PSS®E e assim, efetuar todos os cálculos matriciais e validações sem ter a necessidade de efetuar passos intermédios de envio/receção de dados para simulação no PSS®E, ao mesmo tempo que permite aplicar e gerir o algoritmo PSO, reduzindo o tempo necessário à sua execução.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMO PARA CÁLCULO DA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4.1 INTRODUÇÃO

De modo a apresentar uma nova proposta para a resolução do problema da determinação da máxima injeção nodal, desenvolveu-se uma aplicação informática utilizando o ambiente de programação Eclipse e baseada na linguagem de programação Python.

Esta aplicação informática tem a capacidade de comunicar com o programa PSS®E e obter os dados do modelo da rede de energia elétrica. Do mesmo modo, permite obter toda a informação sobre o perfil de geração e carga, limites dos ramos, entre outras informações.

Com base nas informações recolhidas, a aplicação criará um sistema de matrizes, que tem como objetivo, não só resolver o trânsito de potência DC, mas também fornecer dados de entrada ao algoritmo PSO.

O algoritmo PSO encontra-se implementado nesta aplicação e irá ser utilizado na busca de soluções para o problema da determinação da máxima injeção nodal, com base nos parâmetros definidos pelo utilizador incluindo a possibilidade de escolher entre um contexto de injeção simultânea ou não simultânea.

Além das alternativas apresentadas anteriormente (injeção simultânea ou não simultânea) é possível configurar outros parâmetros referentes ao cenário de simulação, como por exemplo, utilização do método de redução homotética, de ordem de mérito entre outras opções que serão apresentadas na secção 4.4.

4.2 AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO

Para o desenvolvimento da aplicação optou-se por utilizar as seguintes ferramentas informáticas:

- **PYTHON (Version 2.7)** [15]. Escolheu-se a linguagem Python, devido às diversas funcionalidades existentes e que permitem a simplificação de diversos cálculos. Esta linguagem disponibiliza diversas bibliotecas, como por exemplo, a biblioteca Numpy, que facilita a elaboração de cálculos matriciais, os quais são parte fundamental da aplicação.
- **PSS®E XPLORER UNIVERSITY (Version 34.0.2)** [16]. O programa desenvolvido pela Siemens PTI permite efetuar o cálculo de fluxo de potência em redes transmissão de energia elétrica (entre outras funcionalidades). Os dados da rede estão armazenado em ficheiro (*.sav) onde são guardados os

dados do modelo de rede, perfis de geração e carga, entre outras informações. O PSS®E também disponibiliza uma biblioteca descrita na *API* (Application Program Interface) [17] denominada “PSSPY” que permite aceder às funcionalidades do PSS®E através de código escrito em linguagens de programação Python e Fortran, permitindo assim recolher informações ou operar remotamente a aplicação PSS®E.

- **ECLIPSE JAVA EE IDE FOR WEB DEVELOPERS (Version Luna Service Release 1a 4.4.1)** [18]. Esta plataforma foi utilizada devido a sua simplicidade de utilização e visualização do programa desenvolvido em Python e os resultados da simulação, incluindo as soluções do PSO.

4.3 ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

A aplicação informática foi desenvolvida na linguagem Python através do ambiente de programação Eclipse, com interligação ao programa PSS®E através da biblioteca PSSPY, conforme ilustrado na Figura 4-1



FIGURA 4-1 – ARQUITETURA DA APLICAÇÃO

O código da aplicação conta com uma arquitetura modular, que se encontra dividida em 4 módulos:

- **MAIN:** Este é o módulo principal onde são definidas as informações da simulação a executar, a localização do ficheiro onde estão armazenados os dados da rede (.sav), bem como a definição dos parâmetros do PSO.
- **PSOMATRIX:** Este módulo contém diversas funções que foram desenvolvidas para aplicar as diversas fases da metodologia PSO, incluindo a criação e manutenção do algoritmo utilizado, a formulação da *Fitness*, cálculos matriciais para determinação do trânsito de potência usando o método DC e ações de

validação considerando as violações dos limites dos ramos, capacidades dos geradores ou do nó de balanço.

- **FTAUX:** Este módulo contém diversas funções que foram desenvolvidas para recolher dados da rede, através do PSS®E.
- **SENSITIVITY:** Este módulo foi desenvolvido para criar a matriz de sensibilidade através das informações recolhidas da rede.

Convém referir que todos os cálculos do trânsito de potência DC feitos durante o funcionamento do algoritmo PSO foram efetuados pela aplicação desenvolvida, sem utilizar o recurso aos métodos incluídos no *software* PSS®E. Pretende-se com esta metodologia que a aplicação tenha um melhor desempenho, comparativamente às soluções que enviam os dados para um software externo de modo a validar o trânsito de potências, possibilitando assim aplicar o conhecimento adquirido sobre as potencialidades da utilização da matriz de sensibilidade num contexto de utilização do método DC.

4.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

A aplicação desenvolvida tem o objetivo de calcular o valor máximo de injeção nodal em diferentes cenários e permite a configuração de diversos parâmetros, os quais estão definidos abaixo:

TIPO DE INJEÇÃO

- a) **Injeção Não Simultânea:** A maximização da injeção no barramento objetivo será efetuada somente entre o mesmo e o barramento de balanço.
- b) **Injeção Simultânea:** A maximização da injeção no barramento objetivo será efetuada entre o mesmo, o balanço e todos os outros identificados como potenciais pontos de injeção.

TIPO DE CÁLCULO

- a) **Maximização:** O conceito de maximização está sujeito ao facto da função objetivo pretender maximizar a injeção num (ou vários) nó(s) da rede.

TIPO DE REDE

- a) **Rede Real:** Quando o tipo de rede é definido como “real”, a aplicação irá considerar que apenas os barramentos considerados como de geração ou de balanço podem sofrer a alteração da sua injeção de potência.

- b) **Rede Teórica:** Quando o tipo de rede é definido como “teórica”, a aplicação irá considerar que é possível realizar a injeção em qualquer um dos barramentos da rede.

MÉTODO DE COMPENSAÇÃO

- c) **PSO:** Neste método a aplicação recorrerá ao algoritmo PSO para a procura de soluções que permitam maximizar a injeção nodal num determinado barramento (barramento objetivo). A cada iteração e em cada partícula gerada pelo PSO haverá a tentativa de aumentar a injeção no barramento objetivo por forma a maximizar a injeção, sendo que nos outros barramentos o algoritmo PSO poderá proceder o aumento ou redução de injeção, sempre num contexto de maximizar a injeção no barramento objetivo.
- d) **Homotética:** Neste método o algoritmo PSO irá gerar valores de injeção somente para o barramento objetivo, sendo que a redução nos outros barramento é efetuada recorrendo ao método de redução homotética, conforme explicado na secção 2.4.1.
- e) **Ordem de Mérito:** Este método efetua a maximização da injeção nodal de todos os barramentos, seguindo a ordem de prioridade (mérito) que foi atribuída aos mesmos. A aplicação irá procurar a máxima injeção nodal no barramento mais prioritário (maior mérito), identificando o valor máximo de injeção. Ao simular o barramento seguinte, a aplicação fixa o valor máximo de injeção nodal do barramento anterior, continuando este processo até ao fim. O procedimento é igual ao exemplo enunciado na secção 2.4.2.1.

4.5 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO ALGORITMO PSO

Não foi objeto de estudo nesta dissertação, a variação dos parâmetros do PSO para analisar uma melhor performance do algoritmo. Sendo assim foram utilizados os seguintes parâmetros para as diversas simulações:

ITERAÇÕES E TAMANHO DO ENXAME

Total de Iterações = 500

Tamanho do Enxame = 20 partículas

INÉRCIA

Limites de Inercia: [0,5; 1,4]

COEFICIENTES DE CONFIANÇA C1 E C2.

Variável $C_1 = 2$

Variável $C_2 = 2$

VELOCIDADE INICIAL

Os limites da velocidade são definidos com base numa banda referida a uma percentagem do valor inicial de cada partícula do enxame inicial (ex.: $\pm 30\%$) e a posição (valor) inicial da partícula.

$$V_{max} = p \times X(t_0) \quad (39)$$

$$V_{min} = -p \times X(t_0) \quad (40)$$

Em que:

V_{max} – Velocidade inicial máxima

V_{min} – Velocidade inicial mínima

p – percentagem do valor inicial (banda)

$X(t_0)$ – valor inicial da partícula

CRITÉRIO DE PARAGEM

O único critério de paragem implementado na aplicação é o atingimento do número máximo de iterações.

FITNESS

A *Fitness* (desempenho) associada a cada partícula é definida por:

$$Fitness = P_{Bus\ Obj} - FP \times \left(\sum (P_{L\ Exc}) + |Balanço_{<0}| \right) \text{ Unidades} \quad (41)$$

Onde:

$P_{Bus\ Obj}$ – Barramento a maximizar a injeção nodal

FP – Fator de penalização

$P_{L\ Exc}$ – Soma do módulo da potência excedida nos ramos

$Balanço_{<0}$ – Balanço menor que zero

Esta formulação considera o valor injetado no barramento em que se pretende maximizar a injeção e penaliza os valores dos incumprimentos ao nível dos limites dos

ramos e do nó de balanço, multiplicado de um fator de penalização, por forma a aumentar a penalização.

Definiu-se que o valor a utilizar como fator de penalização (FP) será igual a 10. Foi definido este valor, pois identificou-se que o algoritmo poderia beneficiar a *Fitness* com injeções adicionais em contrapartida de pequenos valores cima dos limites dos ramos, os quais se apresentam arredondados a uma casa decimal, por exemplo: compensaria injetar mais 1 MW num barramento em contrapartida de 0,1 MW acima do limite de um ramo qualquer.

OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PSO

Na realização deste trabalho, foram efetuados alguns ensaios com a variação de alguns parâmetros do PSO, nomeadamente a Inércia (ω) e os coeficiente de confiança C_1 e C_2 .

Em A. Resende [9] sugere-se a possibilidade da utilização dos limites de Inercia (ω) no intervalo [0,9:1,2]. Foram efetuados alguns ensaios com estes valores e como não se observaram diferenças em relação aos limites de inércia usualmente utilizados [0,5:1,4], optou-se por manter os valores usualmente utilizados.

Em Luís Costa [2] foram utilizados os valores para os coeficientes de confiança $C_1 = C_2 = 1,49618$. Foram efetuados ensaios com estes valores e também não se identificaram diferenças com relação aos valores usualmente utilizados, $C_1 = C_2 = 2$.

4.6 PRESSUPOSTOS

De seguida são apresentados os pressupostos que foram utilizados no desenvolvimento da aplicação informática e nas simulações realizadas.

BALANÇO

O barramento a ser considerado nas simulações como o de balanço é aquele que está identificado no PSS®E.

O limite mínimo de injeção de potência ativa no barramento de balanço será 0 MW (zero).

Por haver a necessidade de haver o balanço entre o que é produzido e o que é consumido, o valor a injetar no barramento de balanço será dado pela diferença entre o que é produzido nos outros barramentos e as cargas.

Note-se que, apesar da aplicação poder gerar valores negativos no barramento de balanço durante as iterações, esta é válida se a solução final utilizou ou não um valor negativo, penalizando a respetiva *fitness* da solução.

LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS NA GERAÇÃO

O limite mínimo de injeção de potência ativa num barramento está definido como 0 MW (zero). Para a determinação do limite máximo de injeção num barramento, considerou-se que, para cada barramento, este valor é determinado pelo somatório dos limites dos ramos ligados a este barramento adicionado das cargas ligadas ao mesmo.

A determinação destes valores é importante, pois foi implementada na aplicação o conceito de confinamento da posição anteriormente introduzido na secção 3.3.4.

SIMULAÇÕES E ESTATÍSTICA.

Para analisar se o comportamento da aplicação é coerente, foram efetuadas 50 simulações do mesmo cenário a fim de analisar a convergência das soluções propostas para a máxima injeção nodal. Nestas 50 simulações são registadas a solução encontrada, os ramos que limitam a injeção e o número da iteração que o algoritmo identificou a máxima injeção nodal. Será apresentado no capítulo 5 uma análise estatística, por forma a verificar se a quantidade de iterações (500) foram suficientes identificar a máxima injeção nodal, considerando uma distribuição normal [19].

Abaixo apresentam-se as equações utilizadas na análise estatística:

a) Média, expressão (42):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

(42)

b) Desvio padrão, expressão (43):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|^2}$$

(43)

c) Função Densidade de Probabilidade ou Distribuição Normal, expressão (44):

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2}, \quad \sigma > 0, \quad -\infty < x < +\infty$$

(44)

Tendo em consideração que:

68,3% dos valores estão compreendidos dentro do intervalo $\bar{x} \pm \sigma$

95,5% dos valores estão compreendidos dentro do intervalo $\bar{x} \pm 2\sigma$

99,7% dos valores estão compreendidos dentro do intervalo $\bar{x} \pm 3\sigma$

O Anexo 3 apresenta um exemplo da análise estatística.

4.7 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO

A Figura 4-2 ilustra o funcionamento da aplicação, que será precedida da explicação detalhada da mesma.

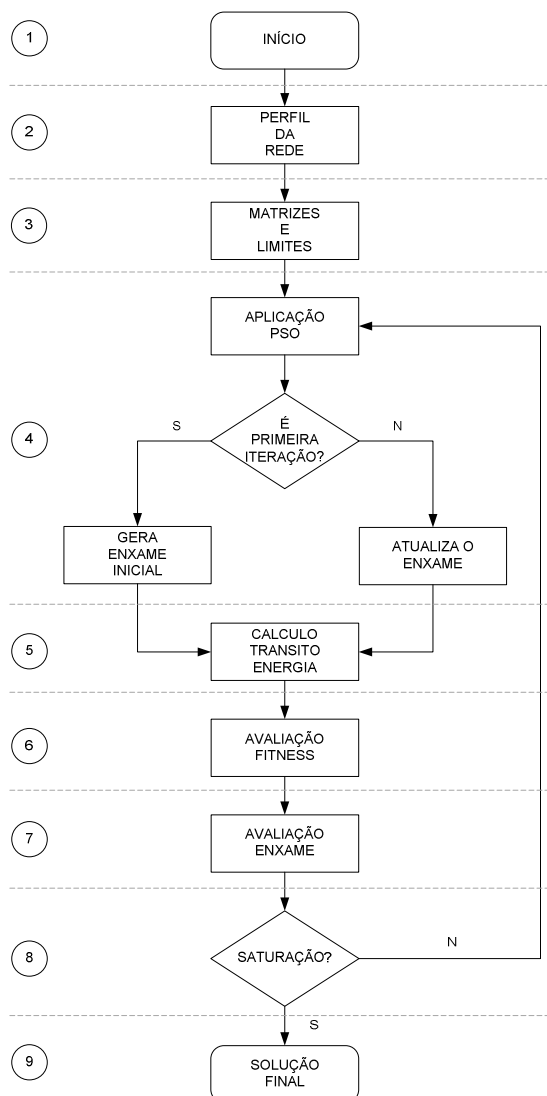


FIGURA 4-2 – PROPOSTA ALGORITMO INJEÇÃO NODAL PSO

1) INÍCIO

No início são definidos os cenários para o estudo do sistema, no qual são determinados os parâmetros de funcionamento do PSO, indicados na secção 4.5.

2) PERFIL DA REDE

Através do acesso à biblioteca PSSPY, a aplicação informática irá obter os dados do modelo da rede, diretamente do programa PSS®E.

Os dados técnicos obtidos incluem:

- Perfil de consumo e geração.
- Informação sobre os barramentos;
- Informações sobre os ramos;

3) MATRIZES E LIMITES

Com a informação obtida do modelo da rede, são criadas diversas matrizes, de modo a poder utilizar o modelo DC. Destas, destacam-se as seguintes:

- Matriz de Admitâncias Nodais
- Matriz de Susceptâncias
- Matriz de Sensibilidade
- Matrizes de Geração e Carga
- Matriz de Injeção
- Matriz de Limites do Trânsito de Potência das Linhas.

Estas matrizes serão utilizadas para efetuar os cálculos e avaliar as soluções numa fase posterior.

4) APLICAÇÃO DO PSO

É nesta fase que será aplicado o algoritmo PSO desenvolvido. Caso seja a primeira iteração será gerado o enxame e velocidades iniciais (conjunto inicial de soluções), caso contrário será atualizada a posição e velocidades de todas as partículas do enxame com base nas expressões (33) e (34).

Através do PSO, serão gerados novos enxames a cada iteração.

5) CÁLCULO DO TRÂNSITO DE POTÊNCIA

Com base nos dados do enxame, a aplicação irá testar os valores de cada partícula (solução), calculando o trânsito de potência nos ramos.

6) AVALIAÇÃO DA *FITNESS*

Utilizando os dados obtidos no trânsito de potência, cada partícula (solução) será analisada e avaliada de acordo com a expressão (41):

7) AVALIAÇÃO DO ENXAME

Com base na *fitness* de cada nova partícula serão comparados os valores com dados da iteração anterior para o caso do PBest e iteração atual GBest sendo posteriormente atualizados caso surjam melhores soluções.

8) CONDIÇÃO DE PARAGEM

Será verificado se o sistema atingiu o valor máximo de iterações. Caso seja negativo, cria uma nova geração do enxame (nova iteração), caso seja positivo para o algoritmo e devolve a melhor partícula (solução).

9) SOLUÇÃO FINAL

Ao atingir o número máximo de iterações será apresentada a solução final, com os valores sugeridos das injeções nos barramentos em função dos cenários configurados. Também são identificados os ramos que limitaram a injeção por ordem decrescente, bem como qual a iteração onde ocorreu a saturação do *Fitness* do enxame.

4.8 OUTPUT DA APLICAÇÃO

No desenvolvimento da aplicação informática, além de ter sido implementado o algoritmo PSO também foi desenvolvido um método que calcula o trânsito de potência ativa nas linhas em função das injeções nodais, baseado na aplicação da matriz de sensibilidade. Seguidamente serão apresentadas as opções de configuração dos cenários e a informação fornecida pela aplicação informática desenvolvida (relatórios). No mesmo sentido, parte do código desenvolvido encontra-se no Anexo 2 de modo a poder servir de ponto de partida para investigações futuras que pretendam aplicar/desenvolver o conceito estudado.

Para a determinação do trânsito referido, pode-se efetuar o cálculo matricial da matriz de sensibilidade pela matriz de injeção nos barramentos.

A exemplificação seguinte baseia-se na rede de 4 barramentos apresentada anteriormente e ilustrada na Figura 3-3 da secção 3.2.1.2.

4.8.1 DADOS DA REDE

É necessário fornecer a localização do ficheiro do caso (*.sav). A aplicação irá ler diversas informações sobre a rede e apresentar o resultado conforme apresentado na Figura 4-3.

```

+-----+
|          DADOS DA REDE          |
+-----+
Simulacao      : REDE 4 BARRAMENTOS
Ficheiro PSSE  : D:\4BUS.sav

Total Barramentos : 4
Total Linhas      : 5
Barramento Balanco : 1

Matriz dos Barramentos
[[1, 2, 3, 4]]

Tipo de Barramento
[[3, 2, 2, 1]]

Ordem de Merito
[[1, 1, 1, 1]]

Sequencias simulacao barramentos
[[1 2 3 4]]
+-----+

```

FIGURA 4-3 – INFORMAÇÃO SOBRE A REDE

4.8.2 DADOS DA GERAÇÃO, CARGA E MODELO DE REDE

Toda a informação relacionada com o perfil de geração, carga e ramos é apresentada de acordo com a Figura 4-4.

```

+-----+
| DADOS DA GERACAO, CARGA E LINHAS |
+-----+
                               Valores em MW

Limite de Geracao Superior
[[ 180.  300.  180.  390.]]

Limite de Geracao Inferior
[[ 0.  0.  0.  0.]]

Matriz Geracao Inicial
[[ 44. 186.  0.  0.]]

Total Injecao : 230.0

Matriz Carga
[[ 0.  50.  0. 180.]]

Total Carga : 230.0

Rate das Linhas
  Max   Ln to Ln
[[ 100.  1.  2.]
 [ 80.  1.  4.]
 [ 100.  2.  3.]
 [ 50.  2.  4.]
 [ 80.  3.  4.]]
+-----+

```

FIGURA 4-4 – INFORMAÇÃO SOBRE GERAÇÃO, CARGAS E RAMOS

4.8.3 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO

Durante a execução da aplicação são apresentadas as informações sobre a configuração do cenário a simular de acordo com o modelo apresentado na Figura 4-5.

```

+-----+
|              CENARIO              |
+-----+
Tipo de Injecao  : Injecao Simultanea
Tipo de Calculo  : Maximizacao
Tipo Compensacao : Reducao PSO
Tipo de Rede     : Real
+-----+

```

FIGURA 4-5 – CONFIGURAÇÃO DO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

4.8.4 CONFIGURAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PSO

A Figura 4-6 apresenta os dados de configuração das variáveis utilizadas no algoritmo PSO.

```

+-----+
|              PSO CONFIG              |
+-----+
Total Iteracoes  : 10
Tamanho Enxame   : 5
Fator Penalizacao: 10
Inercia Max      : 1.4
Inercia Min      : 0.5
Variavel C1      : 2
Variavel C2      : 2
+-----+

```

FIGURA 4-6 – CONFIGURAÇÃO DE VARIÁVEIS PSO

4.8.5 MATRIZ DE SENSIBILIDADE

Com base na informação disponibilizada pelo ficheiro do caso (*.sav), a aplicação irá criar a matriz de sensibilidade, conforme modelo apresentado na Figura 4-7. O código para obtenção da matriz pode ser consultado no Anexo 2.

```

+-----+
|              MATRIZ SENSIBILIDADE              |
+-----+

Matriz de Incidencia
[[ 1.  1.  0.  0.  0.]
 [-1.  0.  1.  1.  0.]
 [ 0.  0. -1.  0.  1.]
 [ 0. -1.  0. -1. -1.]]

Matriz de Admitancias Primitivas
[[-10.  0.  0.  0.  0.]
 [ 0. -12.5  0.  0.  0.]
 [ 0.  0. -10.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. -20.  0.]
 [ 0.  0.  0.  0. -12.5]]

Matriz de Susceptancias
[[-22.5  10.  0.  12.5]
 [ 10. -40.  10.  20.]
 [ 0.  10. -22.5  12.5]
 [ 12.5  20.  12.5 -45.]]

Matriz de Sensibilidade
[[ 0.0000e+00 -5.4365e-01 -4.4444e-01 -3.6508e-01]
 [ 0.0000e+00 -4.5635e-01 -5.5556e-01 -6.3492e-01]
 [ 0.0000e+00  9.9206e-02 -4.4444e-01 -7.9365e-02]
 [ 0.0000e+00  3.5714e-01  2.2204e-16 -2.8571e-01]
 [ 0.0000e+00  9.9206e-02  5.5556e-01 -7.9365e-02]]

```

FIGURA 4-7 – DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ DE SENSIBILIDADE

4.9 EXEMPLO DO ALGORITMO

Será utilizada a rede de 4 barramentos apresentada na secção 3 para exemplificar o uso da aplicação. Seguidamente, será descrito todo o processo de cálculo efetuado pelo algoritmo desenvolvido.

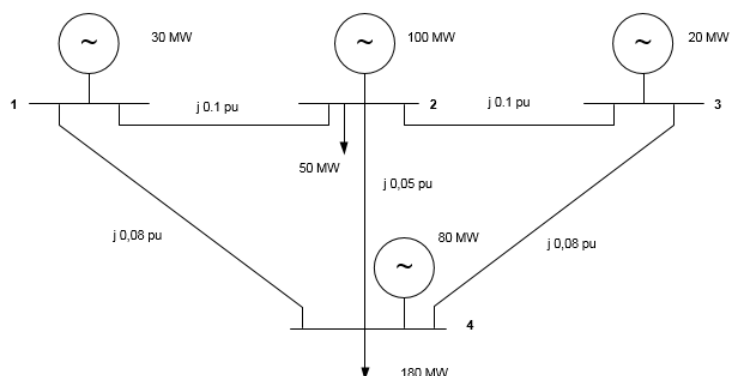


FIGURA 4-8 – REDE DE 4 BARRAMENTOS

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 4-1.

TABELA 4-1 EXEMPLO PSO 4 BARRAMENTOS

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	4 BARRAMENTOS	ITERAÇÕES	5
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 2	ENXAME	2
TIPO DE INJEÇÃO	NÃO SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

Foram consideradas apenas 2 iterações e duas partículas, por ser um exemplo didático, com o cálculo para as duas iterações e para as duas partículas.

4.9.1 MATRIZES PARA CÁLCULO

Abaixo apresentam-se algumas tabelas que serão utilizadas na explicação do algoritmo.

A Tabela 4-2 descreve os valores da matriz de sensibilidade com referência ao barramento 1.

TABELA 4-2 MATRIZ DE SENSIBILIDADE COM REFERÊNCIA AO BARRAMENTO 1

[A ¹]		BARRAMENTOS			
		1	2	3	4
RAMOS	1 - 2	0,0000	-0,5437	-0,4444	-0,3651
	1 - 4	0,0000	-0,4563	-0,5556	-0,6349
	2 - 3	0,0000	0,0992	-0,4444	-0,0794
	2 - 4	0,0000	0,3571	0,0000	-0,2857
	3 - 4	0,0000	0,0992	0,5556	-0,0794

A Tabela 4-3 descreve os valores da geração inicial.

TABELA 4-3 MATRIZ DE GERAÇÃO INICIAL

GERAÇÃO MW	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
INICIAL	30	100	20	80

A Tabela 4-4 descreve os valores da geração máxima.

TABELA 4-4 MATRIZ DE GERAÇÃO MÁXIMA

GERAÇÃO MW	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
MÁXIMA	180	300	180	390

Conforme exposto anteriormente, utilizou-se uma metodologia para definir o valor máximo de potência disponível num gerador. Esta potência é identificada pela soma dos limites dos ramos e das cargas assignadas ao barramento. No caso do algoritmo identificar que uma partícula tenha um valor maior que o definido na Tabela 4-4, é aplicado o valor máximo do barramento de acordo com a expressão (38), definida na secção 3.3.4

$$x_{n,d} \leftarrow \min(\max(x_{n,d} + v_{n,d}, x_{\min}), x_{\max})$$

A Tabela 4-5 descreve os valores da geração mínima.

TABELA 4-5 MATRIZ DE GERAÇÃO MÍNIMA

GERAÇÃO MW	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
MÍNIMA	0	0	0	0

A Tabela 4-6 descreve os valores da carga.

TABELA 4-6 MATRIZ DE CARGA

CARGA MW	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
ÚNICA	0	50	0	180

A Tabela 4-7 descreve os valores dos limites das linhas.

TABELA 4-7 MATRIZ DOS LIMITES DAS LINHAS

LINHAS	LIMITE POTÊNCIA MW
1 - 2	100,00
1 - 4	80,00
2 - 3	100,00
2 - 4	50,00
3 - 4	80,00

4.9.2 ENXAME INICIAL

Numa primeira fase é gerado o enxame inicial. Devido ao tipo de injeção ser não simultânea a aplicação irá gerar valores somente para o barramento 2. A aplicação irá gerar valores aleatórios com base nos limites de geração de cada barramento, conforme demonstrado na Tabela 4-8.

TABELA 4-8 ENXAME INICIAL REDE 4 BARRAMENTOS

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	--	116,0	--	--
2	--	29,0	--	--

O barramento de balanço é o 1, logo o seu valor será calculado pela diferença entre o valor total da carga e da geração. Os barramentos de geração que não são alvo de

otimização mantém o valor inicial. Os valores encontrados pelo PSO são atualizados na matriz de geração inicial, conforme se pode observar na Tabela 4-9.

TABELA 4-9 MATRIZ DE GERAÇÃO INICIAL REDE 4 BARRAMENTOS

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	14,0	116,0	20,0	80,0
2	101,0	29,0	20,0	80,0

Para criar a matriz de injeção a aplicação soma dos valores da matriz de geração inicial com a matriz das cargas, conforme descrito na Tabela 4-10.

TABELA 4-10 MATRIZ DE INJEÇÃO DA REDE 4 BARRAMENTOS

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	14,0	66,0	20,0	-100,0
2	101,0	-26,0	20,0	-100,0

Com base na informação recolhida é efetuado o cálculo do trânsito de potência. Para o cálculo do trânsito de potência é apenas necessário multiplicar a matriz de injeção, Tabela 4-10, (que é obtida pela subtração da matriz de geração inicial com a matriz das cargas) pela matriz de sensibilidade, obtendo assim o trânsito de potência nos ramos.

A Tabela 4-11 apresenta os valores do trânsito de potência para as partículas 1 e 2.

TABELA 4-11 CÁLCULO DO TRÂNSITO DE POTÊNCIA EM MW

RAMOS	LIMITE DE POTÊNCIA [MÓDULO]	PARTÍCULA 1	PARTÍCULA 2
1 - 2	100,00	-8,26	39,04
1 - 4	80,00	22,26	61,96
2 - 3	100,00	5,59	-3,04
2 - 4	50,00	52,14	21,07
3 - 4	80,00	25,59	16,96

Verifica-se que o barramento de balanço apresentou sempre valores positivos, pelo que não há lugar a penalização.

Também se constatou que o trânsito de potência do ramo 2 - 4 para a partícula 1 excedeu em 2,1 MW do limite, Tabela 4-11, o que provocou uma penalização da *Fitness* desta partícula (solução).

Como o objetivo é maximizar a injeção no barramento 2, o cálculo da *Fitness* é efetuado com base na expressão (41). A Tabela 4-12 apresenta o resumo dos cálculos da *Fitness* das partículas.

TABELA 4-12 CÁLCULO DA FITNESS PARTÍCULAS INICIAIS

PARTÍCULAS	FITNESS
1	94,6
2	29,0

Abaixo apresenta-se um exemplo de cálculo da *Fitness* da partícula 1:

$$Fitness_1 = P_{Bus\ Obj} - FP \times \left(\sum (P_{L\ Exc}) + |Balanço_{<0}| \right)$$

$$Fitness_1 = 116 - 10 \times \left(\sum (2,14) + |0| \right)$$

$$Fitness_1 = 116 - 21,4$$

$$Fitness_1 = 94,6$$

O *Fitness* da Partícula 2 é 29, visto que não houveram penalizações.

Com esta informação já é possível determinar a matriz *PBEST* e a Matriz *GBEST*.

Como se trata do início do algoritmo os valores são iguais à matriz do enxame inicial (Tabela 4-8). A matriz *PBEST* é apresentada na Tabela 4-13.

TABELA 4-13 MATRIZ PBEST ITERAÇÃO 0

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	--	116,0	--	--
2	--	29,0	--	--

Analisando a *Fitness* das partículas, na Tabela 4-12, verifica-se que a partícula 1 apresenta a melhor avaliação. Logo, a matriz *GBEST*, assumirá os valores da partícula 1, conforme descrito na Tabela 4-14.

TABELA 4-14 MATRIZ GBEST ITERAÇÃO 0

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	--	116,0	--	--

Assim, ficam por definir os valores da velocidade inicial, conforme as expressões (39) e (40), apresentadas na Tabela 4-15.

TABELA 4-15 V(N,D) (0) VELOCIDADE INICIAL

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
1	--	-5	--	--
2	--	6	--	--

4.9.3 ITERAÇÕES

A aplicação irá efetuar um ciclo repetitivo de ações da iteração 1 até a iteração 5.

Iteração 1

Calculam-se os valores de atualização da velocidade com base na expressão (33). A Tabela 4-16, apresenta os valores da velocidade inicial para a iteração 1.

TABELA 4-16 V(N,D) (0) VELOCIDADE ITERAÇÃO 1

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS			
	1	2	3	4
1	--	-6,1	--	--
2	--	24,7	--	--

Para exemplificar o cálculo, demonstrar-se-ão os passos para obter a velocidade da partícula 1 e 2 na iteração 1.

Utilizando a expressão (37), pode-se calcular a inércia da iteração (ω_{Ite}).

$$\omega_{Ite} = \omega_{max} - (\omega_{max} - \omega_{min}) \times \frac{\text{iteração}}{\text{iterações totais}}$$

$$\omega_1 = 1,4 - (1,4 - 0,5) \times \frac{1}{5}$$

$$\omega_1 = 1,22$$

Utilizando a expressão (33), pode-se calcular a velocidade $v_{1,1}(t + 1)$:

Para a partícula 1:

$$v_{1,1}(t + 1) = \omega \times v_{n,d} + c_1 r_1 (pbest_{n,d}(t) - x_{n,d}(t)) + c_2 r_2 (gbest_d - x_{n,d}(t))$$

Onde:

$$r_1 = 0,7; r_2 = 0,2; c_1 = c_2 = 2 \text{ e } t = 0$$

Assim:

$$v_{1,1}(1) = 1,22 \times (-5) + 2 \times 0,7 \times (116 - 116) + 2 \times 0,2 \times (116 - 116)$$

$$v_{1,1}(1) = -6,1 - 0 - 0$$

$$v_{1,1}(1) = -6,1$$

Para a partícula 2:

$$v_{2,1}(t+1) = \omega \times v_{n,d} + c_1 r_1 (pbest_{n,d}(t) - x_{n,d}(t)) + c_2 r_2 (gbest_d - x_{n,d}(t))$$

Onde:

$$r_1 = 0,3; r_2 = 0,1; c_1 = c_2 = 2 \text{ e } t = 0.$$

Assim:

$$v_{2,1}(1) = 1,22 \times 6 + 2 \times 0,3 \times (29 - 29) + 2 \times 0,1 \times (116 - 29)$$

$$v_{2,1}(1) = 7,3 + 0 + 17,4$$

$$v_{2,1}(1) = 24,7$$

Utilizando a expressão (34) calcular-se-á a nova posição das partículas para a iteração 1, conforme demonstrado na Tabela 4-17.

TABELA 4-17 CÁLCULO DA NOVA POSIÇÃO DAS PARTÍCULAS NA ITERAÇÃO 1

PARTÍCULA	$x_{n,d}$
1	109,9
2	53,7

Seguidamente apresentam-se os cálculos para a determinação da posição das partículas 1 e 2, na iteração 1.

$$x_{1,1}(1) = x_{1,1}(0) + v_{1,1}(1) \Leftrightarrow x_{1,1}(1) = 116 - 6,1$$

$$x_{1,1}(1) = 109,9$$

$$x_{2,1}(1) = x_{2,1}(0) + v_{2,1}(1) \Leftrightarrow x_{2,1}(1) = 29 + 24,7$$

$$x_{2,1}(1) = 53,7$$

De acordo como o processo apresentado anteriormente é calculado o balanço do barramento 1, originando a matriz de geração, conforme apresentado na Tabela 4-18.

TABELA 4-18 MATRIZ DE GERAÇÃO DA REDE 4 BARRAMENTOS ITERAÇÃO 1

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	20,1	109,9	20,0	80,0
2	76,3	53,7	20,0	80,0

Seguidamente para criar a matriz de injeção a aplicação soma os valores da matriz de geração com a matriz das cargas, conforme apresentado na Tabela 4-19.

TABELA 4-19 CÁLCULO DO TRÂNSITO DE POTÊNCIA NA ITERAÇÃO 1

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	20,1	59,9	20,0	-100,0
2	76,3	3,70	20,0	-100,0

Para o cálculo do trânsito de potência é apenas necessário multiplicar a matriz de injeção pela matriz de sensibilidade, obtendo-se assim o trânsito de potência nos ramos.

TABELA 4-20 CÁLCULO DO TRÂNSITO DE POTÊNCIA EM MW

LINHAS	LIMITE DE POTÊNCIA [MÓDULO]	PARTICULA 1	PARTICULA 2
1 - 2	100,00	-4,95	25,61
1 - 4	80,00	25,05	50,69
2 - 3	100,00	4,99	-0,58
2 - 4	50,00	49,96	29,89
3 - 4	80,00	24,99	19,42

Neste sentido, o algoritmo irá comparar a *Fitness* do *PBEST* das partículas na iteração anterior (Tabela 4-12) com a *Fitness* das novas partículas (Tabela 4-21) e atualizará a matriz *PBEST*.

TABELA 4-21 CÁLCULO DO FITNESS DAS PARTÍCULAS NA ITERAÇÃO 1

PARTÍCULAS	FITNESS
1	109,9
2	53,7

A *Fitness* da partícula 1 (Tabela 4-21) é maior nesta iteração que na anterior (Tabela 4-12) , logo o *PBEST* desta partícula é atualizado. A *Fitness* da partícula 2 melhorou nesta iteração (Tabela 4-21), logo o valor do *PBEST* é atualizado, conforme mostra a Tabela 4-22.

TABELA 4-22 MATRIZ PBEST ITERAÇÃO 1

PARTÍCULAS	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
1	--	109,9	--	--
2	--	53,7	--	--

A aplicação ao comparar os valores da *Fitness* da solução atual (Tabela 4-22) com o *Fitness* da solução anterior (Tabela 4-14), verifica que partícula 1 apresenta uma *Fitness* melhor que a do *GBEST*, logo este é atualizado. Na tabela abaixo (Tabela 4-23) são apresentados os novos valores da matriz *GBEST*.

TABELA 4-23 MATRIZ GBEST ITERAÇÃO 1

GBEST	BARRAMENTOS MW			
	1	2	3	4
2	--	109,9	--	--

Este ciclo repetir-se-á até completar as cinco iterações, apresentado no final o valor da melhor solução, que será a Matriz *GBEST*.

4.10 DIFERENÇAS NO CÁLCULO DA REDUÇÃO HOMOTÉTICA

Devido aos arredondamentos efetuados pela aplicação e o acerto final do balanço, existe pequenas diferenças entre o valor teórico da redução homotética e o encontrado pela aplicação.

A Tabela 4-24 apresenta um exemplo do aumento de 6,7 MW no barramento 2 e os valores teóricos de redução homotética. Na coluna Redução Arredondada (MW) é efetuado o arredondamento do barramento 1, 3 e 4, de seguida, no barramento 1 é adicionado 0,1 MW para fazer o balanço.

Desta forma, apesar da aplicação estar a efetuar corretamente a redução homotética as percentagens finais de redução apresentam diferenças com o valor teórico.

TABELA 4-24 ARREDONDAMENTOS REDUÇÃO HOMOTÉTICA

DESCRIÇÃO	REDUÇÃO HOMOTÉTICA %	ADICIONAL MW	REDUÇÃO TEÓRICA MW	REDUÇÃO ARREDOND. MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICAÇÃO %
BARRAMENTO 1	21,8%		1,4637	1,6 (1,5+0,1)	23,88%
BARRAMENTO 2	--	6,7			--
BARRAMENTO 3	15,4%		1,0308	1,0	14,93%
BARRAMENTO 4	61,5%		4,1231	4,1	61,19%

4.11 REDE IEEE 14 ADAPTADA E REDE 4 BARRAMENTOS

Com o intuito de testar a aplicação informática de cálculo da máxima injeção nodal efetuaram-se diversas simulações recorrendo a uma rede baseada na rede IEEE RTS 14 [20], conforme ilustrado na Figura 4-9.

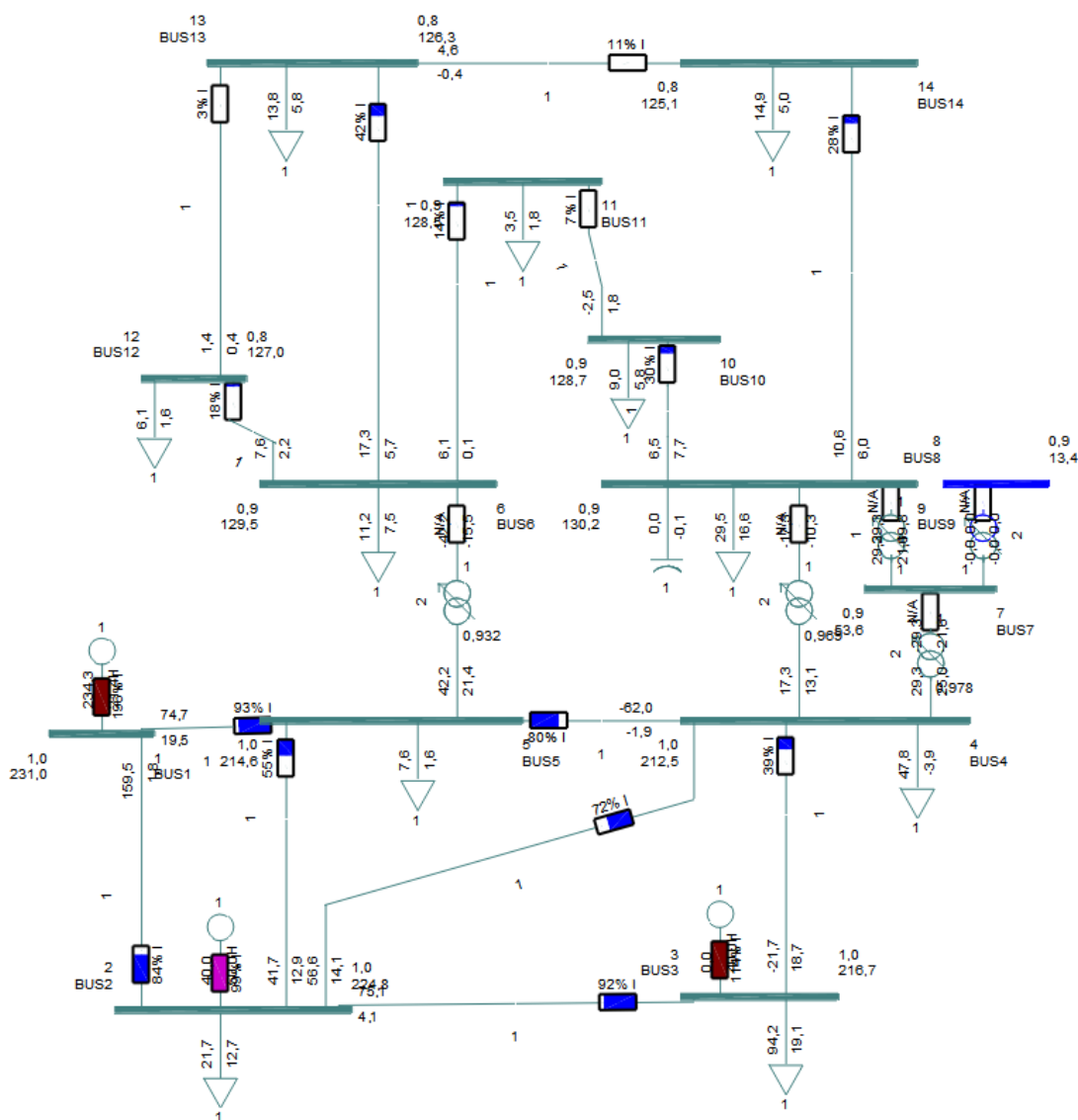


FIGURA 4-9 – TOPOLOGIA DA REDE IEEE14

No entanto, como a rede possui apenas 3 barramentos com geração, ficaria difícil ilustrar os benefícios da aplicação nos diversos cenários de simulação. Desta forma, incluíram-se dois grupos geradores, nos barramentos 6 e 10, com as mesmas características do gerador 2, sendo a injeção redistribuída para 119,3 MW, 50 MW, 40 MW, 30 MW e 20 MW para os geradores 1, 2, 3, 6 e 10, respectivamente, conforme demonstrado na Figura 4-10.

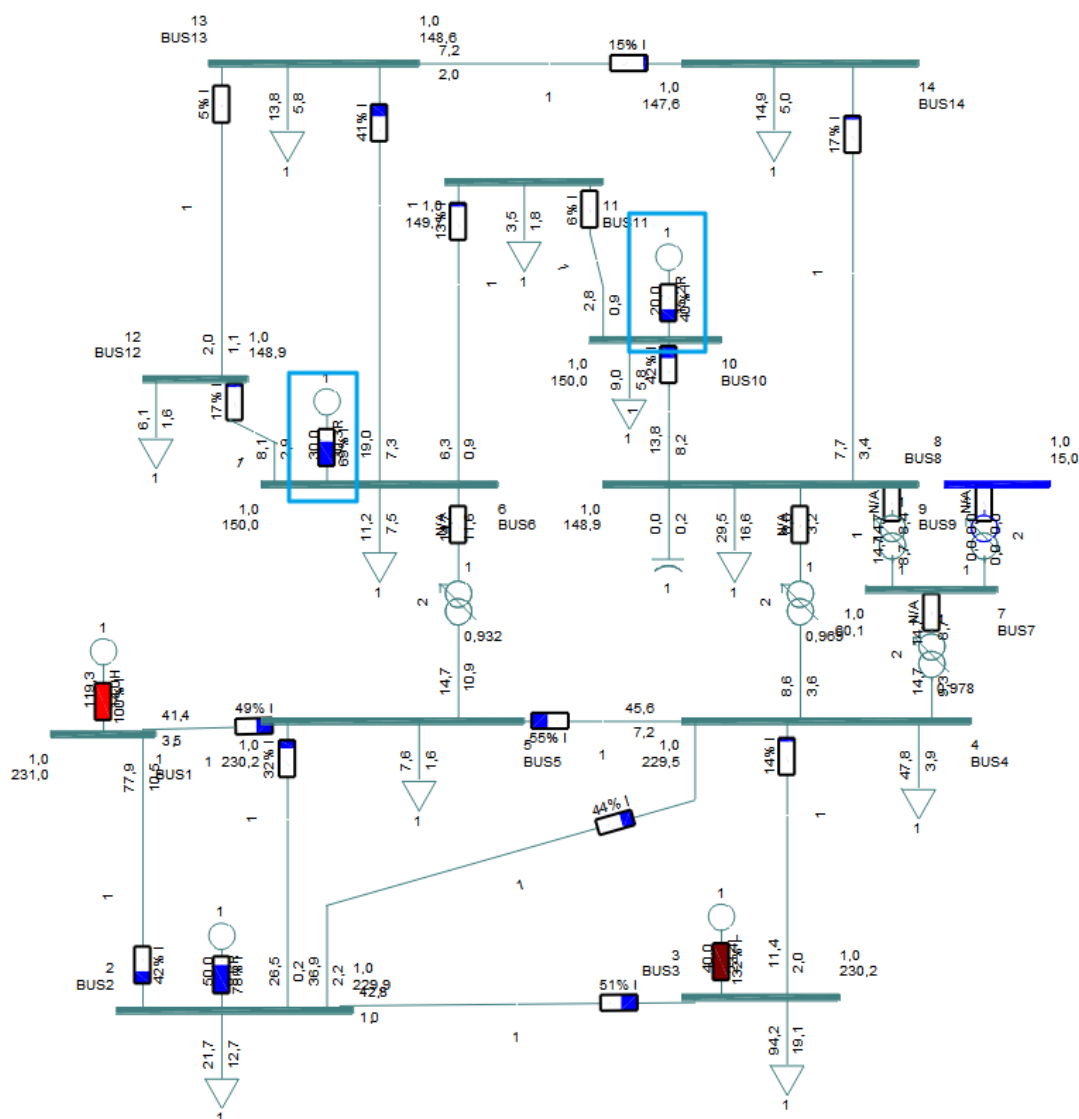


FIGURA 4-10 – TOPOLOGIA DA REDE IEEE14 ALTERADA

Do mesmo modo, como foi utilizado o modelo DC da rede, optou-se por desprezar a parte resistiva das linhas.

A Figura 4-11 apresenta a topologia da rede de 4 barramentos.

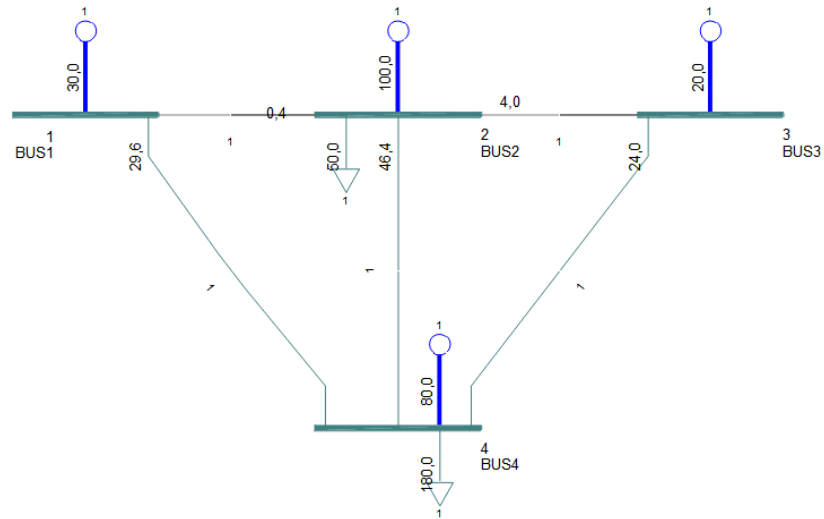


FIGURA 4-11 – TOPOLOGIA DA REDE 4 BARRAMENTOS

As características da rede IEEE 14 Adaptada e rede de 4 Barramentos estão disponíveis no Anexo 4.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

CAPÍTULO 5

APLICAÇÃO DO ALGORITMO PARA MÁXIMA INJEÇÃO NODAL

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5.1 INTRODUÇÃO

Foram efetuadas diversas simulações com a aplicação informática desenvolvida. Abaixo são descritos os diversos cenários simulados:

Rede IEEE14 BUS

- Método PSO - Injeções Não Simultâneas
- Método PSO - Injeções Simultâneas
- Método PSO - Injeções Simultâneas Cenário Teórico

Rede 4 BARRAMENTOS

- Método Homotético
- Método Ordem de Mérito

A seguir apresentam-se os resultados destas simulações.

5.2 MÉTODO PSO APLICADA A REDE IEEE 14 ADAPTADA

5.2.1 MÉTODO PSO – INJEÇÕES NÃO SIMULTÂNEAS

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações utilizando o método PSO com injeções não simultâneas, sendo efetuada a variação da injeção somente no barramento que se pretende identificar a máxima injeção nodal e o barramento de balanço.

Serão comparados os valores das soluções encontradas pela aplicação com o trânsito de potência nos ramos identificados pelo PSS®E.

5.2.1.1 MÉTODO PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA - BARRAMENTO 2

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-1.

TABELA 5-1 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 2	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	NÃO SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 5.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 6.

A Tabela 5-2 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 2.

TABELA 5-2 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	0,0	-119,3	100%
BARRAMENTO 2	50,0	169,3	119,3	--
BARRAMENTO 3	40,0	40,0	0,0	--
BARRAMENTO 6	30,0	30,0	0,0	--
BARRAMENTO 10	20,0	20,0	0,0	--
FITNESS	50,0	169,3	119,3	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-2, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 119,3 MW no barramento 2, sendo este valor compensado integralmente pelo barramento de balanço.

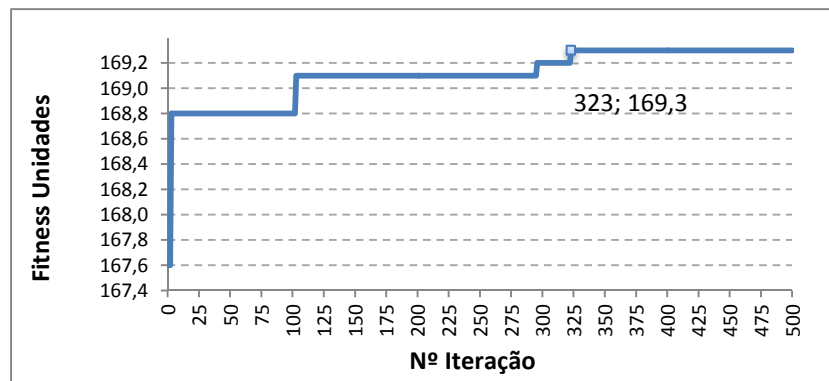
A Tabela 5-3 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação, ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-3 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2 - TRÂNSITO POTÊNCIA

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 2 - 3	80,0	46,1	57,6	46,1	57,6
RAMO 2 - 4	80,0	43,8	54,8	43,8	54,8
RAMO 4 - 5	80,0	36,0	45,0	36,0	45,0

Ao comparar os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 2. Apesar do ramo 2 - 3 apresentar a maior taxa de ocupação no trânsito de potências (46,1%), constata-se que o mesmo não atingiu o seu valor máximo (100%). Isto deve-se ao facto da restrição ativa ser o valor mínimo no barramento de balanço (0 MW).

A Figura 5-1 apresenta o gráfico da evolução do *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 323 o valor máximo de 169,3 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-1 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-2 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 264, sendo que a máxima iteração registada foi 378, valor este, abaixo das 460 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

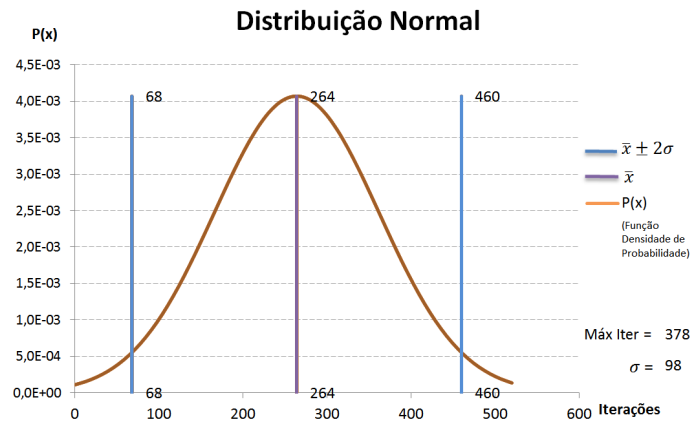


FIGURA 5-2 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2 – ESTUDO DAS SIMULAÇÕES

Ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 5, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 2 é de 119,3 MW, utilizando o método PSO Injeções Não Simultâneas, o ramo 2 – 3 que tem a maior taxa de ocupação e a limitação foi dada pelo valor mínimo do barramento de balanço.

5.2.1.2 MÉTODO PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA - BARRAMENTO 3

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-4.

TABELA 5-4 IEEE 14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 3	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	NÃO SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 7.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 8.

A Tabela 5-5 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 3.

TABELA 5-5 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	0,0	-119,3	100%
BARRAMENTO 2	50,0	50,0	0,0	--
BARRAMENTO 3	40,0	159,3	119,3	--
BARRAMENTO 6	30,0	30,0	0,0	--
BARRAMENTO 10	20,0	20,0	0,0	--
FITNESS	50,0	169,3	119,3	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-5, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 119,3 MW no barramento 2, sendo este valor compensado integralmente pelo barramento de balanço.

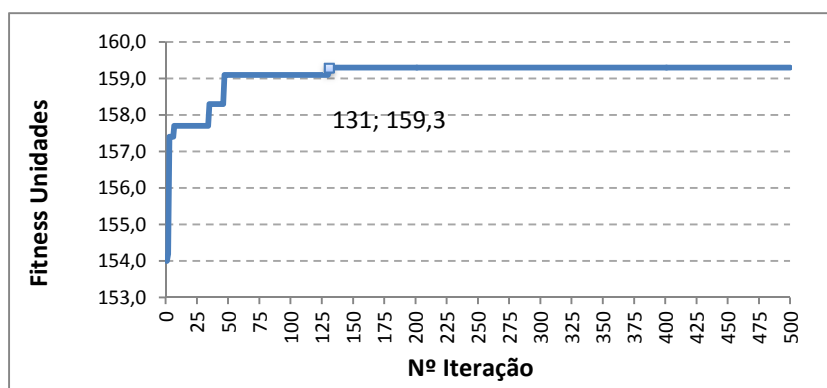
A Tabela 5-6 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-6 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 - TRÂNSITO POTÊNCIA NOS RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 3 - 4	80,0	44,4	55,5	44,4	55,5
RAMO 6 - 13	50,0	18,4	36,8	18,4	36,8
RAMO 9 - 10	38,5	12,5	32,6	12,5	32,6

Ao compararmos os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 3. Apesar do ramo 3 - 4 apresentar a maior taxa de ocupação no trânsito de potências (44,4%), constata-se que o mesmo não atingiu o seu valor máximo (100%). Isto deve-se ao facto da restrição ativa ser o valor mínimo no barramento de balanço (0 MW).

A Figura 5-3 apresenta o gráfico da evolução do *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 131 o valor máximo de 159,3 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-3 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-4 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 186, sendo que a máxima iteração registada foi 337, valor este, abaixo das 390 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

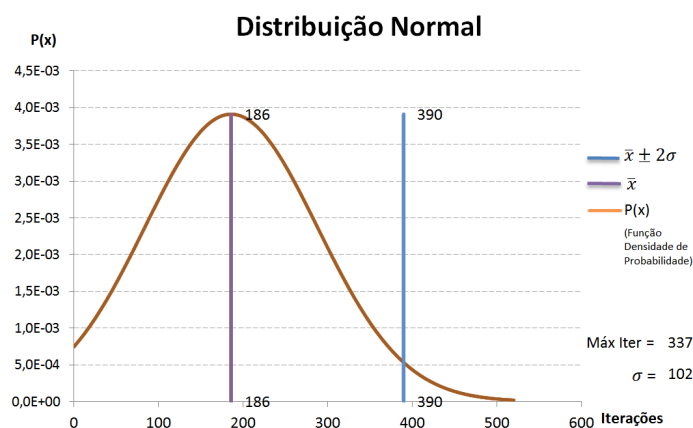


FIGURA 5-4 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisar os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 7, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 3 é de 159,3 MW, utilizando o método PSO Injeções Não Simultâneas, o ramo 3 – 4 que tem a maior taxa de ocupação e a limitação foi dada pelo valor mínimo do barramento de balanço.

5.2.1.3 MÉTODO PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA - BARRAMENTO 6

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-7.

TABELA 5-7 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 6

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 6	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	NÃO SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 9.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 10.

A Tabela 5-8 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 6.

TABELA 5-8 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 6

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	27,2	-92,1	100%
BARRAMENTO 2	50,0	50,0	0,0	--
BARRAMENTO 3	40,0	40,0	0,0	--
BARRAMENTO 6	30,0	122,2	92,2	--
BARRAMENTO 10	20,0	20,0	0,0	--
FITNESS	50,0	169,3	119,3	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-8, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 92,2 MW no barramento 6, sendo este valor compensado integralmente pelo barramento de balanço.

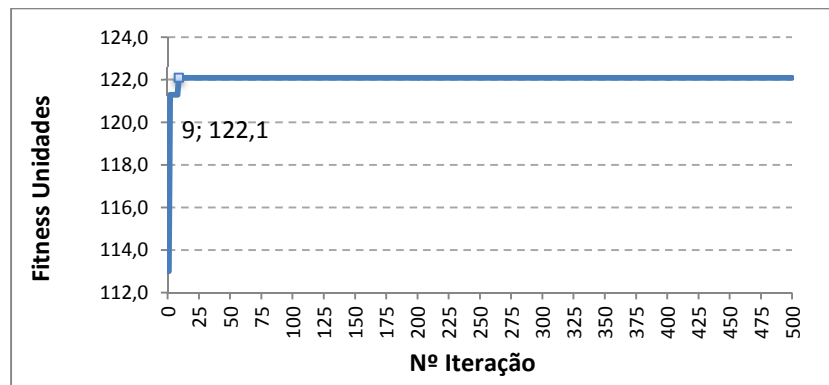
A Tabela 5-9 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-9 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 - TRÂNSITO POTÊNCIA NOS RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 5 - 6	46,0	46,0	99,9	46,0	99,9
RAMO 9 - 10	38,5	32,7	85,0	32,7	85,0
RAMO 4 - 5	80,0	12,5	60,1	12,5	60,1

Ao analisar os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 6, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 5 – 6 (99,9%).

A Figura 5-5 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 9 o valor máximo de 122,1 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-5 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-6 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 151, sendo que a máxima iteração registrada foi 349, valor este, abaixo das 353 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

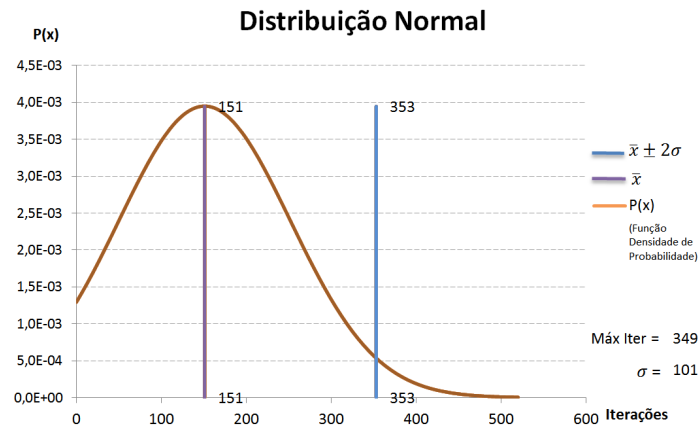


FIGURA 5-6 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisar os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 9, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 6 é de 122,1 MW, utilizando o método PSO Injeções Não Simultâneas, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 5 - 6.

5.2.1.4 MÉTODO PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA - BARRAMENTO 10

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-10.

TABELA 5-10 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 10

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 10	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	NÃO SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 11.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 12.

A Tabela 5-11 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 10.

TABELA 5-11 IEEE14 – PSO - INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 10

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	84,8	-34,5	100%
BARRAMENTO 2	50,0	50,0	0,0	--
BARRAMENTO 3	40,0	40,0	0,0	--
BARRAMENTO 6	30,0	30,0	0,0	--
BARRAMENTO 10	20,0	54,5	34,5	--
FITNESS	20,0	54,5	34,5	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-11, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 34,5 MW no barramento 10, sendo este valor compensado integralmente pelo barramento de balanço.

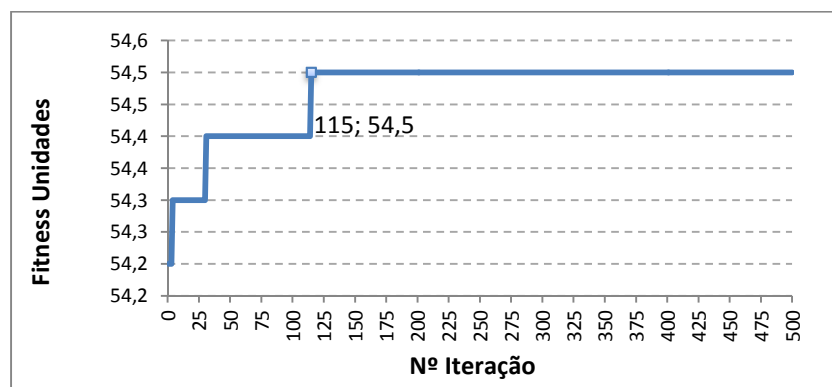
A Tabela 5-12 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-12 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 - TRÂNSITO POTÊNCIA NOS RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 9 - 10	38,5	38,5	99,9	38,5	99,9
RAMO 2 - 3	80,0	38,1	47,7	38,1	47,7
RAMO 4 - 5	80,0	37,7	47,1	37,7	47,1

Ao analisar os valores, da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 10, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 9 – 10 (99,9%).

A Tabela 5-7 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 115 o valor máximo de 54,5 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-7 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-8 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 108, sendo que a máxima iteração registada foi 256, valor este, abaixo das 260 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

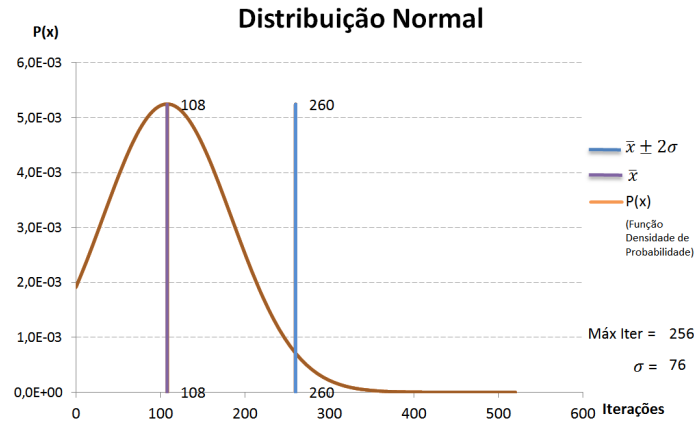


FIGURA 5-8 – PSO – INJEÇÃO NÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisar os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 11, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 10, utilizando o método PSO Injeções Não Simultâneas é de 54,5 MW, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 9 - 10.

5.2.2 MÉTODO PSO - INJEÇÕES SIMULTÂNEAS

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações utilizando o método PSO com injeções simultâneas, sendo efetuada a variação da injeção em todos os barramentos de geração.

Serão comparados os valores das soluções encontradas pela aplicação com o trânsito de potência nos ramos identificados pelo PSS®E.

5.2.2.1 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-13.

TABELA 5-13 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 2	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 13.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 14.

A Tabela 5-14 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 2.

TABELA 5-14 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	0,0	-119,3	57,0%
BARRAMENTO 2	50,0	259,3	209,3	--
BARRAMENTO 3	40,0	0,0	-40,0	19,1%
BARRAMENTO 6	30,0	0,0	-30,0	14,3%
BARRAMENTO 10	20,0	0,0	-20,0	9,6%
FITNESS	50,0	259,3	209,3	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-14, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 209,3 MW no barramento 2, sendo este valor compensado maioritariamente pelo barramento de balanço, com uma maior participação dos barramentos mais próximos (barramento 3 e 6). Este barramento conseguiu satisfazer completamente a carga.

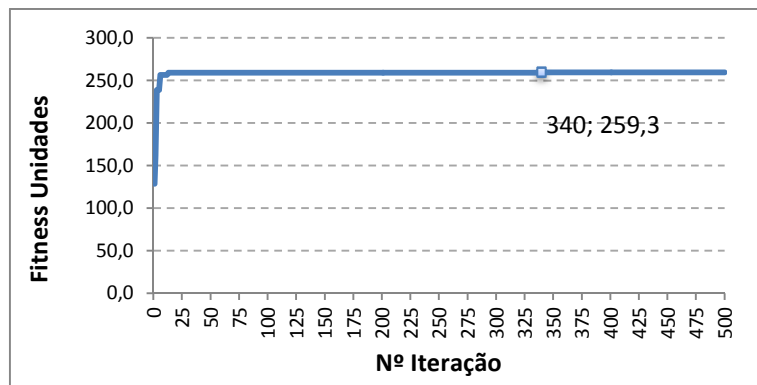
A Tabela 5-15 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-15 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 2 - 3	80,0	76,1	95,1	76,1	95,1
RAMO 5 - 6	46,0	41,3	89,7	41,3	89,7
RAMO 2 - 4	80,0	67,9	84,8	67,9	84,8

Ao analisar os valores, da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 2, contudo, apesar do ramo 2 - 3 apresentar a maior taxa de ocupação no trânsito de potências, constata-se que o mesmo não atingiu o seu valor máximo (100%). Isto deve-se ao facto da restrição ativa ser o valor mínimo no barramento de balanço (0 MW). No entanto, verifica-se um aumento substancial da injeção nodal em relação ao cenário de injeção não simultânea.

A Figura 5-9 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 340 o valor máximo de 259,3 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-9 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 2 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-10 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 227, sendo que a máxima iteração registada foi 360, valor este, abaixo das 429 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

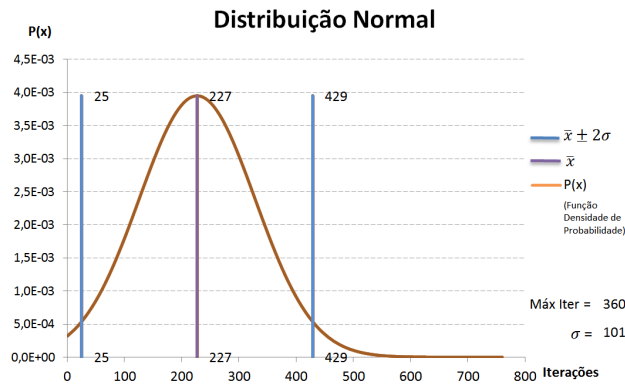


FIGURA 5-10 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisar os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 11, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 2 é de 259,3 MW, utilizando o método PSO Injeções Simultâneas

5.2.2.2 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-16.

TABELA 5-16 IEEE 14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 3	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	$[0,5 ; 1,4]$
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	$[0 ; 1]$
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 15.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 16.

A Tabela 5-17 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 3.

TABELA 5-17 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	0,1	-119,2	61,9%
BARRAMENTO 2	50,0	0,0	-50	26,0%
BARRAMENTO 3	40,0	232,5	192,5	--
BARRAMENTO 6	30,0	0,0	-30,0	15,6%
BARRAMENTO 10	20,0	26,7	6,7	-3,5%
FITNESS	20,0	232,5	212,5	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-17, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 192,5 MW no barramento 3, sendo este valor compensado maioritariamente pelo barramento de balanço, seguida de uma maior comparticipação do barramento 2.

A Tabela 5-18 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

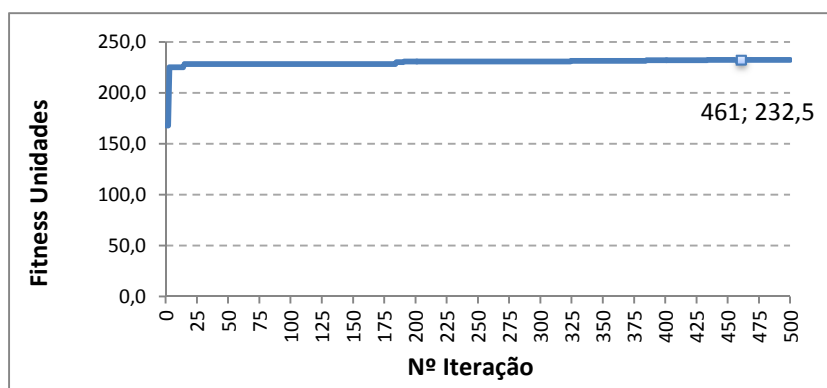
TABELA 5-18 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 3 - 4	80,0	80,0	100,0	80,0	100,0
RAMO 2 - 3	80,0	58,3	72,9	58,3	72,9
RAMO 5 - 6	46,0	28,9	62,8	28,9	62,8

Ao analisar os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 3, sendo limitado pelo ramo 3 – 4 (100%).

Verifica-se que algoritmo procurou uma solução de reforçar a injeção no barramento 10, a fim de absorver as injeções dos barramentos 1, 2 e 6 (Tabela 5-17), tendo utilizado a máxima taxa de ocupação do ramo 3 – 4.

A Figura 5-11 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 461 o valor máximo de 232,5 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-11 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-12 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 382, sendo que a máxima iteração registada foi 491. Apesar de não haver nenhuma solução acima das 500 iterações (número de iterações totais das 50 simulações), não foi possível garantir um intervalo de confiança do resultado de 95%.

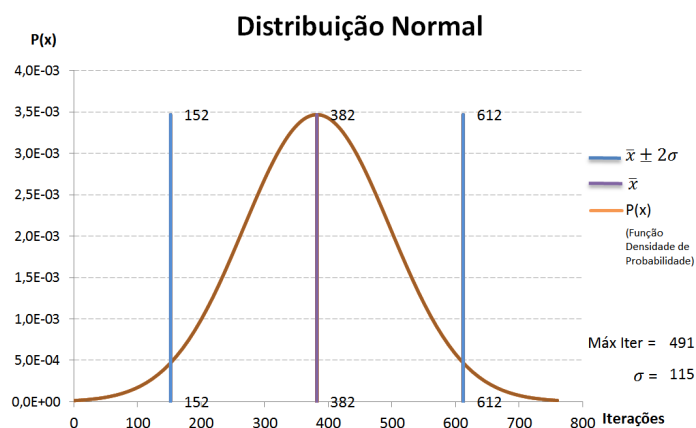


FIGURA 5-12 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 3 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

O estudo acima realizado indica apenas que foi identificada uma solução para o problema da injeção nodal, no entanto, ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 15, verifica-se que algumas soluções (das 50 simulações) não convergiram para o mesmo resultado, como por exemplo a simulação nº 1 que identificou de 224,8 MW na iteração 72.

Apesar de terem sido identificadas soluções que não convergiram para o máximo da injeção nodal (minoria das simulações), pode-se afirmar que se identificou a máxima injeção nodal para o Barramento 3 com um valor de 232,5 MW, utilizando o método

PSO com Injeções Simultâneas, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 3 - 4.

5.2.2.3 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-19.

TABELA 5-19 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 6

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 6	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 17.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 18.

A Tabela 5-20 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 6.

TABELA 5-20 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 6

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	125,0	5,7	-3,0%
BARRAMENTO 2	50,0	0,0	-50,0	26,0%
BARRAMENTO 3	40,0	0,0	-40,0	20,8%
BARRAMENTO 6	30,0	134,3	104,3	--
BARRAMENTO 10	20,0	0,0	-20,0	10,4%
FITNESS	20,0	134,3	114,3	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-20, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 104,3 MW no barramento 6, sendo este valor compensado maioritariamente pelos barramentos 2 e 3. Ao contrário de outras situações, o barramento de balanço teve que injetar potência.

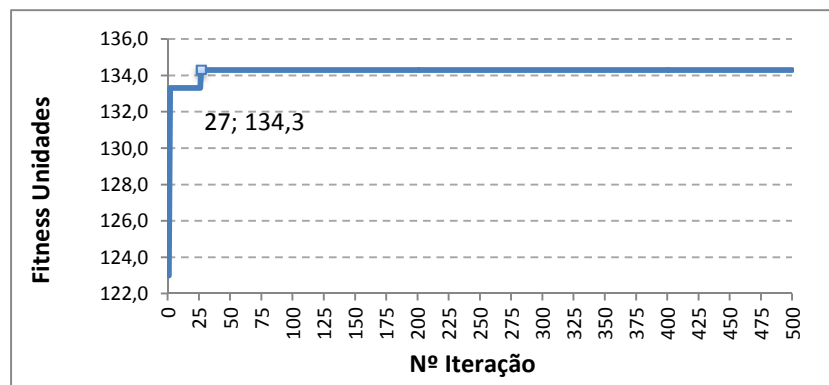
A Tabela 5-21 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-21 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 5 - 6	46,0	46,0	99,0	46,0	99,0
RAMO 4 - 5	80,0	69,3	86,6	69,3	86,6
RAMO 6 - 11	50,0	34,0	68,0	34,0	68,0

Ao compararmos os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 6, sendo limitado pelo ramo 5 – 6 (99,0%).

A Figura 5-13 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 27 o valor máximo de 134,3 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-13 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-14 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 151, sendo que a máxima iteração registada foi 342, valor este, abaixo das 351 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

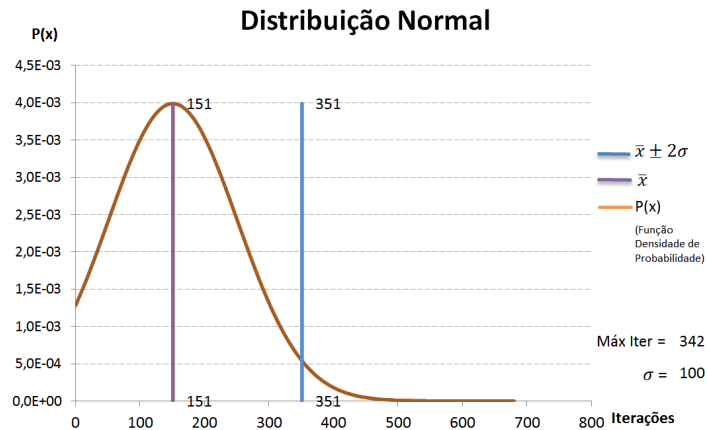


FIGURA 5-14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 6 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 17, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 6 é de 134,3 MW, utilizando o método PSO Injeções Simultâneas, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 5 - 6.

5.2.2.4 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-22.

TABELA 5-22 IEEE14– PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 10

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 10	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 19.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 20.

A Tabela 5-23 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 10.

TABELA 5-23 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 10

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	2,9	-116,4	97,57%
BARRAMENTO 2	50,0	0,0	-50,0	100,00%
BARRAMENTO 3	40,0	191,2	151,2	-378,00%
BARRAMENTO 6	30,0	0,0	-30,0	100,00%
BARRAMENTO 10	20,0	65,2	45,2	--
FITNESS	20,0	65,2	45,2	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-23, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 45,2 MW no barramento 10, sendo este valor compensado pelos barramentos 1, 2 e 6. O barramento 3 em vez de contribuir teve que injetar potência.

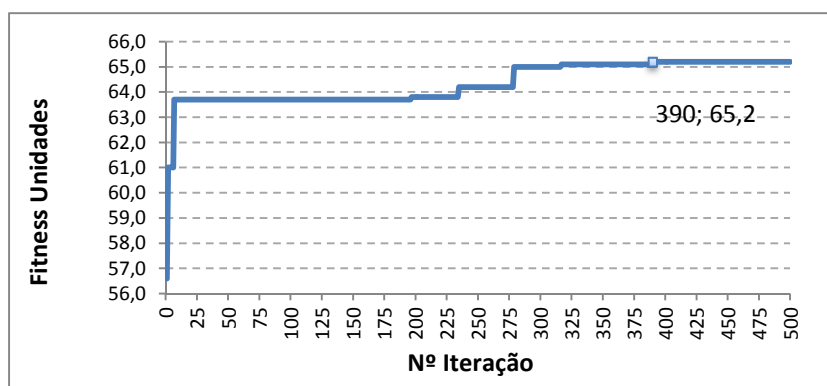
A Tabela 5-24 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-24 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 9 - 10	38,5	38,5	100,0	38,5	100,0
RAMO 3 - 4	80,0	55,5	69,3	55,5	69,3
RAMO 2 - 3	80,0	41,5	51,9	41,5	51,9

Ao compararmos os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 10, sendo limitado pelo ramo 9 – 10 (100%).

A Figura 5-13 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 390 o valor máximo de 65,2 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-15 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-16 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 283, sendo que a máxima iteração registada foi 450. Apesar de não haver nenhuma solução acima das 500 iterações (número de iterações totais das 50 simulações), não foi possível garantir um intervalo de confiança do resultado de 95%.

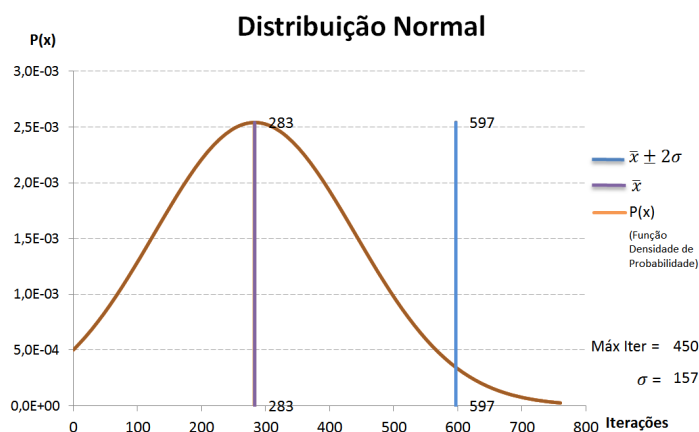


FIGURA 5-16 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

O estudo acima realizado indica apenas que foi identificada uma solução para o problema da injeção nodal, no entanto, ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 19, verifica-se que algumas soluções (das 50 simulações) não convergiram para o mesmo resultado, como por exemplo a simulação nº 4 que identificou o valor de 62,3 MW na iteração 9.

Apesar de terem sido identificadas soluções que não convergiram para o máximo da injeção nodal (minorias das simulações), pode-se afirmar que identificou-se a máxima injeção nodal para o Barramento 10 com um valor de 62,5 MW, utilizando o método PSO com Injeções Simultâneas, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelo ramo 9 - 10.

5.2.3 MÉTODO PSO - INJEÇÕES SIMULTÂNEA – CENÁRIO TEÓRICO

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações utilizando o método PSO com injeções simultâneas, sendo efetuada a variação da injeção em todos os barramentos da rede. Este cenário foi denominado teórico, pois a aplicação considera que qualquer barramento pode ser utilizado como um ponto de geração.

Serão comparados os valores das soluções encontradas pela aplicação com o trânsito de potência nos ramos identificados pelo PSS®E.

5.2.3.1 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 7 - TEÓRICO

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-25.

TABELA 5-25 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – CENÁRIO BARRAMENTO 7

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	IEEE 14 BUS - ADAPTADA	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 7	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	TEÓRICA	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 21.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência, o qual pode ser consultado no Anexo 22.

A Tabela 5-26 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 7.

TABELA 5-26 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 7

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	SOLUÇÃO FINAL	VARIAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO
BARRAMENTO 1	119,3	2,9	-116,4	97,57%
BARRAMENTO 2	50,0	0,0	-50,0	100,00%
BARRAMENTO 3	40,0	0,0	151,2	-378,00%
BARRAMENTO 6	30,0	9,7	-30,0	100,00%
BARRAMENTO 7	0,0	200,0	200,0	
BARRAMENTO 10	20,0	0,0	-20,0	--
FITNESS	0,0	0,0	0,0	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-26, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 200,0 MW no barramento 7, sendo este valor compensado pelos barramentos 1 e 6.

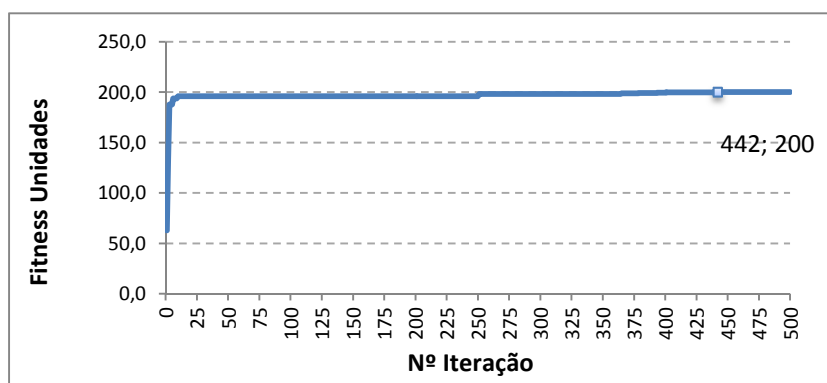
A Tabela 5-27 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-27 IEEE14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 7 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 4 - 7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
RAMO 7 - 9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
RAMO 9 - 10	38,5	28,2	73,2	28,2	73,2

Ao compararmos os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 7, sendo limitado pelo ramo 4 – 7 e 7 – 9 (100%).

A Figura 5-17 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 442 o valor máximo de 200,0 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-17 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 7 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-18 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 323, sendo que a máxima iteração registada foi 472. Apesar de não haver nenhuma solução acima das 500 iterações (número de iterações totais das 50 simulações), não foi possível garantir um intervalo de confiança do resultado de 95%.

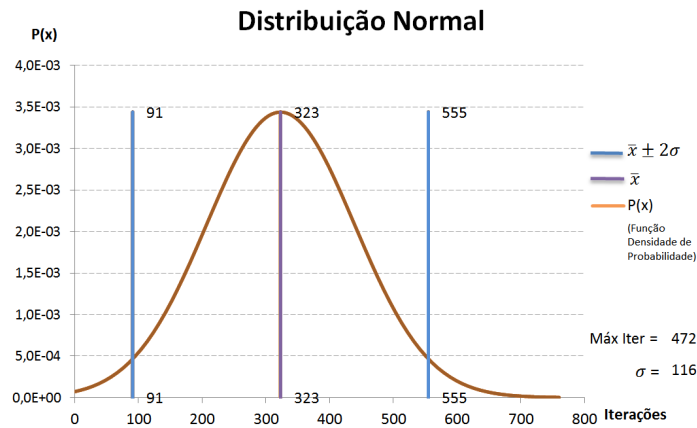


FIGURA 5-18 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 7 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

O estudo acima realizado indica apenas que foi identificada uma solução para o problema da injeção nodal, no entanto, ao analisarmos os dados da matriz PBest, GBest e as 50 simulações do Anexo 21, verifica-se que algumas soluções (das 50 simulações) não convergiram para o mesmo resultado, como por exemplo a simulação nº 4 que identificou de 196,1 MW na iteração 451.

Mesmo tendo sido identificadas soluções que não convergiram para o máximo da injeção nodal, pode-se afirmar que identificou-se a máxima injeção nodal para o Barramento 7 com um valor de 200,0 MW, utilizando o método PSO com Injeções Simultâneas, sendo a limitação da injeção nodal neste barramento imposta pelos ramos 4 -7 e 7 – 9.

5.2.3.2 MÉTODO PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 – TEÓRICO

Também efetuou-se a título de comparação a simulação para o barramento 10, Tabela 5-28, para injeção simultânea real, onde somente os barramentos de geração podem injetar, e o cenário teórico, onde todos os barramento podem injetar.

TABELA 5-28 IEEE 14 – PSO – INJEÇÃO SIMULTÂNEA – BARRAMENTO 10 - TEÓRICO

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL	CENÁRIO REAL	CENÁRIO TEÓRICO
BARRAMENTO 1	119,3	2,9	17,8
BARRAMENTO 2	50,0	0,0	0,0
BARRAMENTO 3	40,0	191,2	151,2
BARRAMENTO 6	30,0	0,0	0,0
BARRAMENTO 9	0,0	0,0	144,0
BARRAMENTO 10	20,0	65,2	97,5

Conforme dados da tabela acima pode-se verificar que a aplicação no cenário teórico conseguiu injetar 97,5 MW em comparação ao cenário real de 65,2 MW. Isto foi possível a custa da instalação de um gerador no barramento 9. Esta situação era espectável, visto que o algoritmo procurou instalar um gerado no barramento mais próximo. Assim, pode-se concluir que a máxima injeção nodal para o barramento 10 em injeções simultâneas cenário teórico é 97,5 MW.

5.3 MÉTODO REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICADA A REDE DE 4 BARRAMENTOS

5.3.1.1 REDUÇÃO HOMOTÉTICA – RECORRENDO AO PSO

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações utilizando o método homotético.

Serão comparados os valores das soluções encontradas pela aplicação com os valores teóricos de redução homotética, o trânsito de potência nos ramos e os valores de máxima injeção identificados pelo *SPIL*.

5.3.1.2 REDUÇÃO HOMOTÉTICA – MAXIMIZAÇÃO BARRAMENTO 2

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-29.

TABELA 5-29 4 BUS – HOMOTÉTICO – CENÁRIO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	REDE 4 BARRAMENTOS	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 2	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,a)}(0) ; 0,5 X_{(n,a)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	HOMOTÉTICA	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 23.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência *DC*, o qual pode ser consultado no Anexo 24.

A análise pela função *SPIL* pode ser consultada no Anexo 25.

A Tabela 5-30 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 2 e os valores de redução homotética.

TABELA 5-30 4 BUS – HOMOTÉTICA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 2

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA %	SOLUÇÃO FINAL MW	VARIAÇÃO MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICAÇÃO %
BARRAMENTO 1	30,0	23,08%	28,4	-1,6	23,88%
BARRAMENTO 2	100,0	--	106,7	6,7	--
BARRAMENTO 3	20,0	15,38%	19,0	-1,0	14,93%
BARRAMENTO 4	80,0	61,54%	75,9	-4,1	61,19%
FITNESS	100,0	--	106,7	6,7	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-30, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 6,7 MW, no barramento 2, que é igual ao valor identificado pela função *SPIL*, do mesmo modo que os valores de redução teórica e o que a aplicação identificou são idênticos, sendo as diferenças explicadas na secção 4.10.

A Tabela 5-31 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-31 4 BUS – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 2 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 2 - 4	50,0	50,0	100,0	50,0	100,0
RAMO 1 - 4	80,0	29,7	37,1	29,7	37,1
RAMO 3 - 4	80,0	24,4	30,6	24,4	30,6

Ao analisar os valores da Tabela 5-31, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 2, seja em termos do trânsito de potências bem como o ramo que limita a injeção, ramo 2 – 4, o que é coerente com a informação do *SPIL*.

A Figura 5-19 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 135 o valor máximo de 106,7 unidades para a *Fitness*.

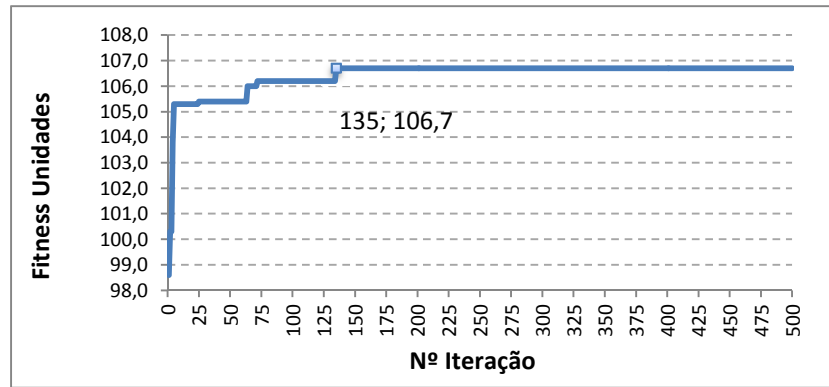


FIGURA 5-19 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 2 – EVOLUÇÃO DA FITNESS

A Figura 5-20 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 205, sendo que a máxima iteração registada foi 359, valor este, abaixo das 413 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

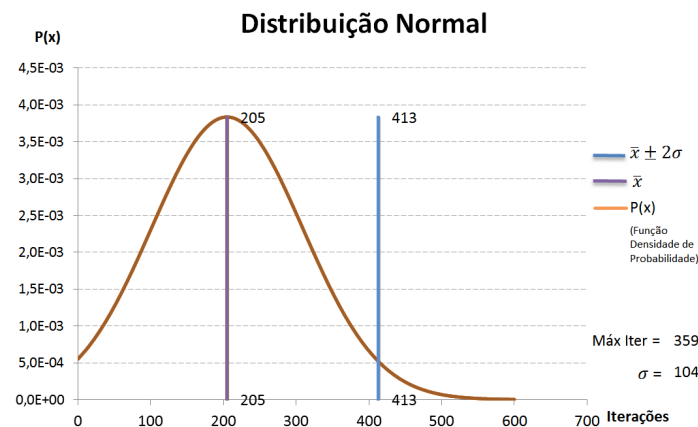


FIGURA 5-20 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 2 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 23, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 2, utilizando o método de redução homotética, é 106,7 MW e a limitação é o ramo 2 – 4.

5.3.1.3 REDUÇÃO HOMOTÉTICA – MAXIMIZAÇÃO BARRAMENTO 3

O cenário simulado encontra-se descrito na Tabela 5-32.

TABELA 5-32 4 BUS – HOMOTÉTICO – CENÁRIO BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	REDE 4 BARRAMENTOS	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 3	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	HOMOTÉTICA	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 26.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência *DC*, o qual pode ser consultado no Anexo 27.

A análise pela função *SPIL* pode ser consultada no Anexo 28.

A Tabela 5-33 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 3 e os valores de redução homotética.

TABELA 5-33 4 BUS – HOMOTÉTICA – SOLUÇÃO BARRAMENTO 3

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA %	SOLUÇÃO FINAL MW	VARIAÇÃO MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICAÇÃO %
BARRAMENTO 1	30,0	14,29%	15,2	-14,8	14,24%
BARRAMENTO 2	100,0	47,62%	50,5	-49,5	47,64%
BARRAMENTO 3	20,0	--	123,9	103,9	--
BARRAMENTO 4	80,0	38,10%	40,4	-39,6	38,11%
FITNESS	20,0	--	123,9	103,9	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-33, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 103,9 MW ,no barramento 3, que é semelhante ao valor identificado pela função *SPIL* de 104,0 MW, do mesmo modo que os valores de redução teórica e o que a aplicação identificou são idênticos, sendo as diferenças explicadas na secção 4.10.

A Tabela 5-34 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenados por ordem decrescente.

TABELA 5-34 4 BUS – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 3 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 3 - 4	80,0	80,0	100,0	80,0	100,0
RAMO 2 - 4	50,0	40,1	80,1	40,1	80,1
RAMO 2 - 3	100,0	43,9	43,9	43,9	43,9

Ao analisar os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 3, seja em termos do trânsito de potências bem como o ramo que limita a injeção, ramo 3 – 4, o que é coerente com a informação do *SPIL*.

A Figura 5-21 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 27 o valor máximo de 123,9 unidades para a *Fitness*.

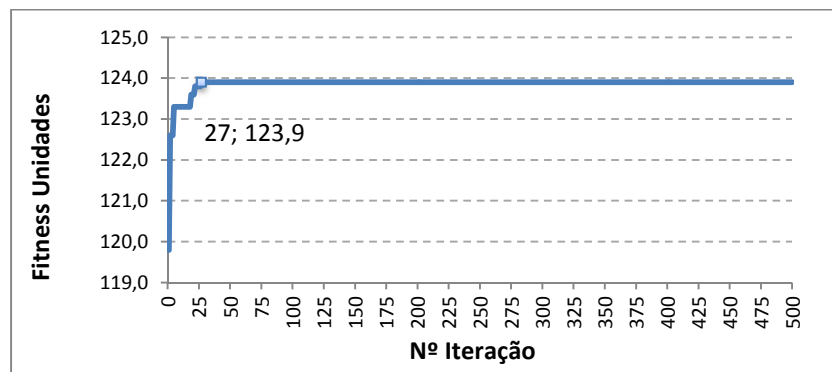


FIGURA 5-21 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 3 – EVOLUÇÃO DA FITNESS

A Figura 5-22 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 157, sendo que a máxima iteração registrada foi 320, valor este, abaixo das 339 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

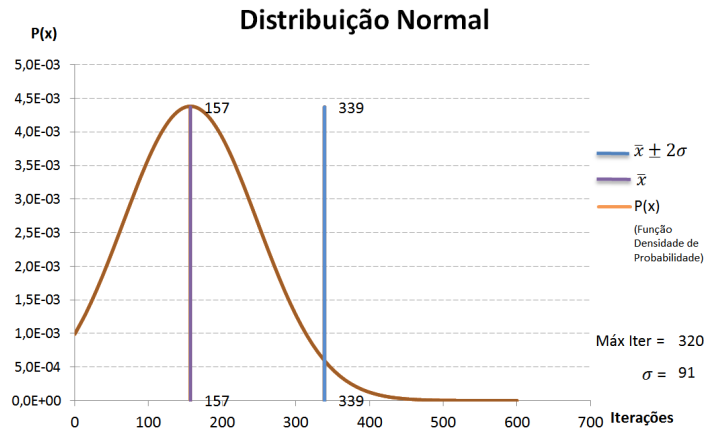


FIGURA 5-22 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 3 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisarmos os dados da matriz *PBEST*, *GBEST* e as 50 simulações do Anexo 26, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 3 utilizando o método de redução homotética é 123,9 MW e a limitação é o ramo 3 – 4.

5.3.1.4 REDUÇÃO HOMOTÉTICA – MAXIMIZAÇÃO BARRAMENTO 4

O cenário simulado está descrito na Tabela 5-35.

TABELA 5-35 4 BUS – HOMOTÉTICO – CENÁRIO BARRAMENTO 4

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	REDE 4 BARRAMENTOS	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTO 4	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	PSO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 29.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência *DC*, o qual pode ser consultado no Anexo 30.

A análise pela função *SPIL* pode ser consultada no Anexo 31.

A Tabela 5-36 descreve os valores de comparação da injeção inicial com a solução final encontrada pela aplicação, bem com os valores de contribuição de cada barramento para a maximização do barramento 4 e os valores de redução homotética.

TABELA 5-36 4 BUS – HOMOTÉTICO – SOLUÇÃO BARRAMENTO 4

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA %	SOLUÇÃO FINAL MW	VARIAÇÃO MW	REDUÇÃO HOMOTÉTICA APLICAÇÃO %
BARRAMENTO 1	30,0	20,00%	0,0	-30,0	100%
BARRAMENTO 2	100,0	66,67%	0,0	-100,0	100%
BARRAMENTO 3	20,0	13,33%	0,0	-20,0	100%
BARRAMENTO 4	80,0		230,0	150,0	--
FITNESS	80,0	--	230,0	150,0	--

Ao analisar os valores da Tabela 5-36, verifica-se que a aplicação identificou um aumento de 150,0 MW ,no barramento 4, que é inferior ao valor identificado pela função SPIL 184,1MW, mas coerente, numa ótica de que a aplicação desenvolvida está limitada ao máximo de injeção dos geradores. Como não houve limitação proveniente dos ramos a redução homotética foi de 100% para todos os barramentos.

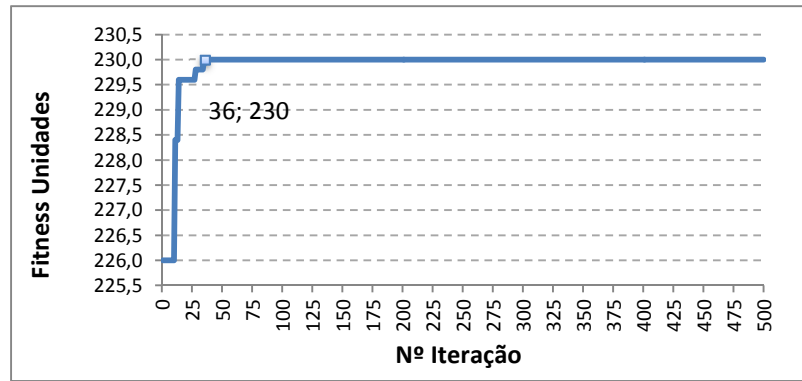
A Tabela 5-37 descreve os valores dos três ramos que tiveram a maior taxa de ocupação ordenado por ordem decrescente.

TABELA 5-37 4 BUS – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 4 - TRÂNSITO POTÊNCIA RAMOS

RAMOS	LIMITE INJEÇÃO MW	APLICAÇÃO		PSS®E	
		TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %	TRÂNSITO POTÊNCIA MW	TAXA OCUPAÇÃO %
RAMO 2 - 4	50,0	32,1	64,3	32,1	64,3
RAMO 1 - 4	80,0	8,9	11,2	8,9	11,2
RAMO 3 - 4	80,0	8,9	11,2	8,9	11,2

Ao compararmos os valores da tabela acima, pode-se verificar que a aplicação obteve o mesmo resultado que o PSS®E para o barramento 4, seja em termos do trânsito de potências bem como o ramo que tem a maior taxa de ocupação, ramo 3 – 4, o que é coerente com a informação do *SPIL*.

A Figura 5-23 apresenta o gráfico da evolução da *Fitness*. Verifica-se que a aplicação encontrou na iteração 36 o valor máximo de 230 unidades para a *Fitness*.

FIGURA 5-23 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 4 – EVOLUÇÃO DA *FITNESS*

A Figura 5-24 apresenta o gráfico do estudo realizado sobre um ciclo de 50 simulações. Verifica-se que em média, a maximização da injeção nodal ocorreu perto da iteração 166, sendo que a máxima iteração registada foi 361, valor este, abaixo das 361 iterações mínimas para garantir um intervalo de confiança de 95%.

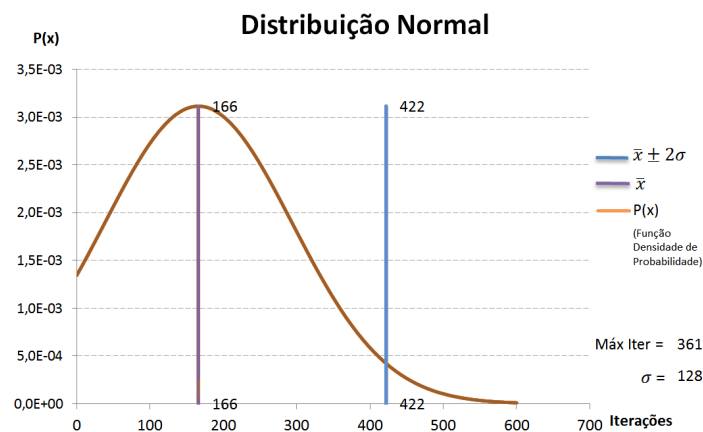


FIGURA 5-24 – HOMOTÉTICO – BARRAMENTO 4 – ESTUDO CICLO SIMULAÇÕES

Ao analisarmos os dados da matriz PBest, GBest e as 50 simulações do Anexo 29, verifica-se que todas as soluções convergem para o mesmo resultado.

Desta forma, identifica-se que a máxima injeção nodal para o Barramento 4 utilizando o método de redução homotética é 230 MW e não há limitação ao nível dos ramos, sendo o ramo 2 – 4, o ramo com a maior taxa de ocupação.

5.4 MÉTODO ORDEM DE MÉRITO APLICADA A REDE DE 4 BARRAMENTOS

5.4.1.1 MÉTODO ORDEM DE MÉRITO – RECORRENDO AO PSO.

Nesta secção serão apresentados os resultados das simulações utilizando o método por Ordem de Mérito.

A aplicação irá simular sequencialmente os barramentos pela ordem que for definida fixando o valor máximo da injeção nodal para a próxima simulação. O método utilizado nas simulações para identificar a máxima injeção nodal nos barramentos é através o método PSO.

Serão comparados os valores das soluções encontradas pela aplicação com o trânsito de potência nos ramos identificados pelo PSS®E.

5.4.1.2 MÉTODO ORDEM DE MÉRITO – SEQUÊNCIA BARRAMENTOS 3-2-4

O cenário simulado está descrito na Tabela 5-38.

TABELA 5-38 4 BUS – CENÁRIO ORDEM DE MÉRITO

DESCRIÇÃO	VALOR	DESCRIÇÃO	VALOR
REDE	REDE 4 BUS	ITERAÇÕES	500
MAXIMIZAÇÃO	BARRAMENTOS 3, 2 E 4	ENXAME	20
TIPO DE INJEÇÃO	SIMULTÂNEA	VELOCIDADE INICIAL	$[-0,5 X_{(n,d)}(0) ; 0,5 X_{(n,d)}(0)]$
TIPO DE REDE	REAL	ω	[0,5 ; 1,4]
COMPENSAÇÃO	ORDEM DE MÉRITO	C_1, C_2	[0 ; 1]
SIMULAÇÕES	50	$r_1 = r_2$	2

Foi efetuada a simulação para o cenário de maximização da injeção nodal seguindo a seguinte Ordem de Mérito:

Barramento 3 → Barramento 2 → Barramento 4.

O conteúdo completo das simulações poderá ser consultado no Anexo 32.

Os valores sugeridos pela aplicação como solução final foram simulados no PSS®E, calculando o trânsito de potência DC, o qual pode ser consultado no Anexo 33, Anexo 34 e Anexo 35.

A Tabela 5-39 demonstra os valores das soluções para as três sequências.

TABELA 5-39 4 BUS – CENÁRIO ORDEM DE MÉRITO

DESCRIÇÃO	INJEÇÃO INICIAL MW	SEQUÊNCIA 1 BARRAMENTO3	SEQUÊNCIA 2 BARRAMENTO2	SEQUÊNCIA 3 BARRAMENTO4
BARRAMENTO 1	30,0	0,2	2,0	0,0
BARRAMENTO 2	100,0	0,0	0,0	0,0
BARRAMENTO 3	20,0	140,0	140,0	140,0
BARRAMENTO 4	80,0	89,9	88,0	90,0

Ao analisar os dados da tabela acima, verifica-se que na primeira simulação a aplicação encontra um valor de 140 MW para o barramento 3. Sendo fixado o valor de 140 MW para o barramento 3 para a próxima simulação. Verifica-se que nesta situação os ramos 2 – 3 e 3 – 4 apresentam uma taxa de ocupação de 100%, conforme Anexo 33.

De seguida a aplicação tenta efetuar a maximização da injeção nodal no barramento 2, no entanto como os ramos referidos no parágrafo anterior estão no limite, a aplicação não encontra uma solução, deixando o valor da máxima injeção à 0 MW.

Por fim, é realizada a maximização do barramento 4, sendo identificado os 90 MW para o barramento 4, Anexo 35.

Foram efetuados testes com a configuração de outras sequências, tendo a aplicação encontrada uma solução coerente na sequência da maximização dos barramentos.

Apesar de ter sido identificada a máxima injeção nodal seguindo a sequência determinada, barramentos 3, 2 e 4, verifica-se que a aplicação deste método respondeu ao objetivo principal, maximizar a injeção no barramento 3. Entretanto o método apresenta baixa eficácia visto que, não conseguiu injetar nada no barramento 2 e 90 MW no barramento 4.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

6.1 CONCLUSÕES

Na presente dissertação foram atingidos todos os objetivos propostos no Capítulo 1, nomeadamente o desenvolvimento de uma nova metodologia para a determinação da máxima injeção nodal utilizando um algoritmo evolucionário de otimização (PSO) suportado numa análise de sensibilidade nodal da rede. A metodologia foi aplicada através de uma ferramenta informática desenvolvida que permite a parametrização de diversos cenários com a posterior identificação da máxima injeção nodal e dos elementos que limitam este valor.

A aplicação desta metodologia é assente em alguns pressupostos, como sejam os limites mínimos e máximos dos geradores e o limite mínimo de injeção de potência ativa no barramento de balanço.

Um outro aspeto importante a referir é que, apesar da parametrização do PSO (tal como o número de iterações, tamanho do enxame, intervalo de confiança, entre outras variáveis) ser determinante para o funcionamento ótimo do algoritmo, foram somente testadas variações dos valores da Inercia e coeficientes de confianças. Como não se verificaram diferenças com relação aos valores recomendados pelo PSO, utilizaram-se estes. Todavia, efetuaram-se 50 simulações sucessivas que demonstraram que a grande maioria das soluções convergiram para a melhor solução dentro do número máximo de iterações.

De seguida apresentam-se as conclusões referentes aos cenários analisados e os resultados obtidos:

MÉTODO DE COMPENSAÇÃO POR REDUÇÃO HOMOTÉTICA

Foram efetuadas simulações com o método de compensação por redução homotética dos geradores por forma a compensar a nova injeção nodal para um mesmo cenário de carga na rede de 4 barramentos. As soluções encontradas foram comparadas com as soluções da função *SPIL* através do método do trânsito de potência DC, verificando quer o valor da máxima injeção nodal, quer o ramo que limita essa mesma injeção, recorrendo ao *software* de simulação PSS®E.

Verificou-se a total convergência de resultados na determinação da máxima injeção nodal em todas as simulações.

MÉTODO DE COMPENSAÇÃO POR ORDEM DE MÉRITO

Foram efetuadas simulações com o método de compensação por ordem de mérito na rede de 4 barramentos. As simulações efetuadas foram comparadas com o método do trânsito de potência DC, tendo sido obtidos os mesmos resultados em termos de trânsito de potência e as mesmas soluções para a máxima injeção nodal em todas as simulações.

Apesar da aplicação deste método responder ao objetivo principal, de maximizar a injeção num determinado barramento, nomeadamente o primeiro da ordem de mérito, verifica-se que o método apresenta baixa eficiência na redistribuição da injeção pelos outros barramentos utilizando a sequência definida da ordem de mérito, visto que alguns barramentos com ordem de mérito inferior conseguiram injetar mais potência que outros de ordem superior.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA À REDE IEEE 14

Neste trabalho foram efetuadas simulações assumindo, quer injeções simultâneas, quer não simultâneas na rede IEEE14. Verificou-se que nos dois cenários o algoritmo identificou a máxima injeção nodal bem como as restrições ativas, sejam elas nos ramos, nos limites de geração ou no nó de balanço. Ao analisar as simulações concluiu-se que a convergência do valor da máxima injeção nodal, no método de injeções não simultâneas foi mais rápida do que nas simulações das injeções simultâneas. Isto deve-se ao facto de haver mais possibilidades combinatórias nas injeções simultâneas do que nas não simultâneas, tornando o processo de procura mais elaborado e demorado.

As simulações efetuadas foram comparadas através do método do trânsito de potência DC, tendo sido obtidos os mesmos resultados em termos de trânsito de potência e as mesmas soluções para a máxima injeção nodal em todas as simulações.

Também foi verificada a versatilidade da aplicação através da simulação de diversos cenários, incluindo a identificação da máxima injeção nodal para a totalidade dos barramentos e não só nos de geração.

CONCLUSÕES FINAIS

Como resultado deste trabalho, verificou-se que é possível determinar a máxima injeção nodal de uma rede através de diversos métodos. Ao compararmos o algoritmo desenvolvido, como o método homotético e ordem de mérito, verifica-se que o método PSO além de apresentar uma flexibilidade na simulação de diversos cenários e topologias de rede, também apresentou uma grande fiabilidade nas soluções apresentadas para a máxima injeção nodal, mesmo quando comparado com os valores obtidos em *software* comercial específico (i.e. PSS®E).

Verificou-se também que existe um potencial de utilização desta metodologia sem recorrer a utilização do PSS®E ou outro *software* de simulação (comercial), desde que sejam fornecidos os dados da rede e respetivas matrizes de geração e carga, barramentos, limites dos ramos, impedâncias e incidência, tornando esta metodologia uma ferramenta de baixo custo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

6.2 TRABALHO FUTURO

No desenvolvimento deste trabalho foram identificadas algumas propostas para trabalhos futuros, os quais são listados de seguida:

1. Utilização de outras variações do PSO, como por exemplo o EPSO, onde alguns dos parâmetros fixos utilizados são otimizados.
2. Utilização de uma metodologia de redução homotética da geração e aumento homotético da carga, para compensação de geração adicional que se pretenda ligar.
3. Teste com variações da localização do barramento de balanço.
4. Incluir a possibilidade de relaxar o limite dos ramos por forma a identificar um segundo nível de restrições, i.e., quais os segundos elementos que limitam a máxima injeção nodal.
5. Incluir no processo: Testes em cenários N-1.
6. Possibilidade de simulação de dispositivos de armazenamento numa perspetiva de *demand-side response* (DSR).
7. Em alternativa ao método de compensação por ordem de mérito clássico, incluir lógica de mercado na construção desta mesma ordem de mérito.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

BIBLIOGRAFIA

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

- [1] J. G. M. L. Nunes, "Dissertação - Desenvolvimento de algoritmos para a determinação da máxima injeção nodal em redes de energia elétrica," ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [2] L. M. P. d. Costa, "Dissertação - Desenvolvimento e Aplicação do Algoritmo Enxame de Partículas na Determinação da Máxima Injeção Nodal em Redes de Energia Elétrica," Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Caparica, 2014.
- [3] Superintendência de Regulação dos Serviços de Transmissão - SRT, Manual da Metodologia Nodal para cálculo de tarifas de uso dos sistemas elétricos, Brasília: 003/1999-SRT/ANEEL, 1999.
- [4] Siemens PTI, Program Operation Manual PSSE 34, 2015, p. Secção 8.8.
- [5] F. Heppner e U. Grenander, "A Stochastic Nonlinear Model for Coordinated Bird Flocks," *The Ubiquity of Chaos* (ed. S. Krasner), Vols. %1 de %2Pub. 89-15S, pp. Pp 233-238, 1990.
- [6] K. J. e. E. R., "Particle Swarm optimization", *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, ISBN: 0-7803-2768-3, USA, 1995.
- [7] R. Eberhart e J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," *Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, vol. 43, n.º ISBN: 0-7803-2676-8, 1995.
- [8] R. Eberhart e Y. Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications," *Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation*, vol. 1, n.º ISBN: 0-7803-6657-3, pp. 81-86, 2001.
- [9] A. Resende, "Dissertação - Particle Swarm Optimization Aplicada ao Planejamento da Expansão de Sistemas de Transmissão," UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- [10] X. Zhao, "A hybrid variants particle swarm optimization algorithm," em *INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE VISION AND HUMAN-MACHINE INTERFACE (MVHI)*, 2010.
- [11] Y. Shi e R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," *IEEE Proceedings on Evolutionary Computation*, n.º ISBN: 0-7803-4869-9, pp. 69-73, 1998.
- [12] H. Shayegui, M. Mahdavi e A. Bagheri, "Discrete PSO algorithm based optimization of transmission lines loading in TNEP problem," vol. 51, n.º *Energy Conversion and Management*, pp. pp. 112-121, 2010.

- [13] Y. Zheng e et al, "The convergence analysis and parameter selection in particle swarm optimization," em *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Kaifeng, 2003.
- [14] M. Clerc, "Particle swarm optimization," em *ISTE - ISBN-13: 978-1-905209-04-0* , London, 2006.
- [15] Python, "Python," 2015. [Online]. Available: <http://www.python.org>.
- [16] "PSS®E - Transmission System Planning," Siemens, 2015. [Online]. Available: <http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/transmission-grid/products/grid-analysis-tools/transmission-system-planning/Pages/transmission-system-planning.aspx>.
- [17] Siemens PTI, Aplicaton Program Interface PSSE 34, 2015.
- [18] "Eclipse," Eclipse, [Online]. Available: <http://www.eclipse.org>.
- [19] F. d. S. Fernandes, "Dissertação - Testes de Ajuste a Distribuições Estatísticas e Métodos para Estimação dos Parâmetros em Análises de Fiabilidade," ISEL - Instituto de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- [20] University of Washington, "Power Systems Test Case Archive," [Online]. Available: http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf14/pg_tca14bus.htm.

ANEXOS

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexo 1 - Procedimentos SPIL Rede 4 Barramentos

1. SUBSISTEMA ALLSYSTEMS

Criar ficheiros de subsistema (*.sub), de monitorização (*.mon) e contingências (*.con) no menu: Power Flow/Linear Network/Create/modify SUB, MON, CON, configuration files...

De acordo com a Figura 8-1, realizar os seguintes procedimentos:

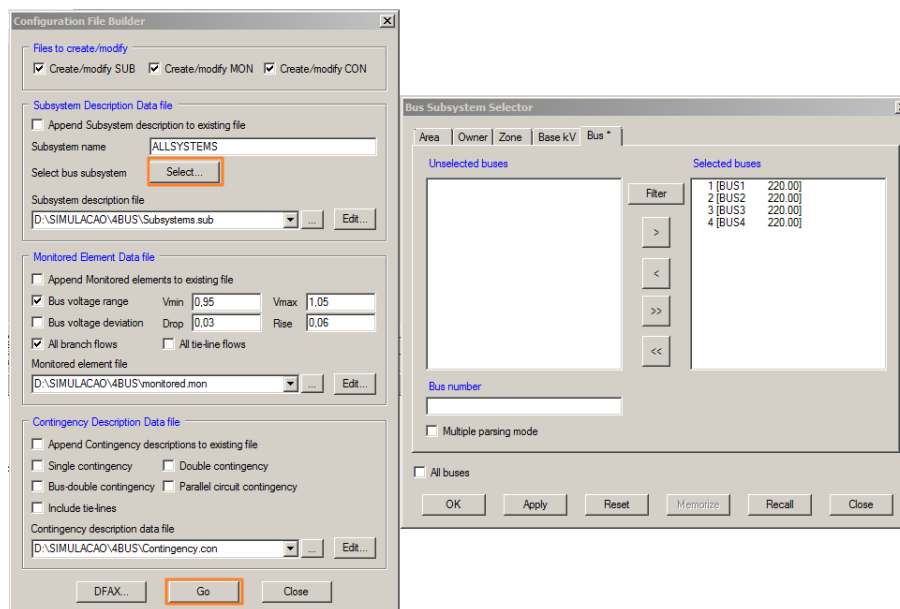


FIGURA 8-1 – SPIL CREATE ALLSYSTEMS

- 1.1. Colocar visto (✓) nas três caixas com a designação “Create/modify...”
- 1.2. **Subsystem Description Data File**
 - 1.2.1. Remover visto (✓) da caixa “Append ... to existing file”
 - 1.2.2. Definir o nome do subsistema que vai conter todos os barramentos da rede na área “Subsystem name”;
 - 1.2.3. No botão “Select bus subsystem”, ir ao separador “bus” e seleccionar todos os barramentos (passando-os para a coluna da direita). Premir “**Apply**” seguido de “**OK**”;
 - 1.2.4. Seleccionar a localização do ficheiro (*.sub) que vai guardar a informação dos subsistemas criados;
- 1.3. **Monitored Element Data File**
 - 1.3.1. Remover visto (✓) da caixa “Append ... to existing file”
 - 1.3.2. Definir que grandezas se pretende monitorizar no subsistema definido no ponto 1.2
 - 1.3.3. Seleccionar a localização do ficheiro (*.mon) que vai guardar a informação dos elementos a monitorizar;
- 1.4. **Contingency Description Data File**
 - 1.4.1. Remover visto (✓) da caixa “Append ... to existing file”
 - 1.4.2. Definir que contingências se pretende simular (no caso da simulação em regime normal (N) remover todos os vistos (✓))
 - 1.4.3. Seleccionar a localização do ficheiro (*.con) que vai guardar a informação das contingências a simular;
- 1.5. Premir “**Go**”

2. SUBSISTEMA STUDY

Efetuar o procedimento de alterar /incluir no ficheiro de subsistema (*.sub) as informações do sistema em estudo.

De acordo com a Figura 8-2, realizar os seguintes procedimentos:

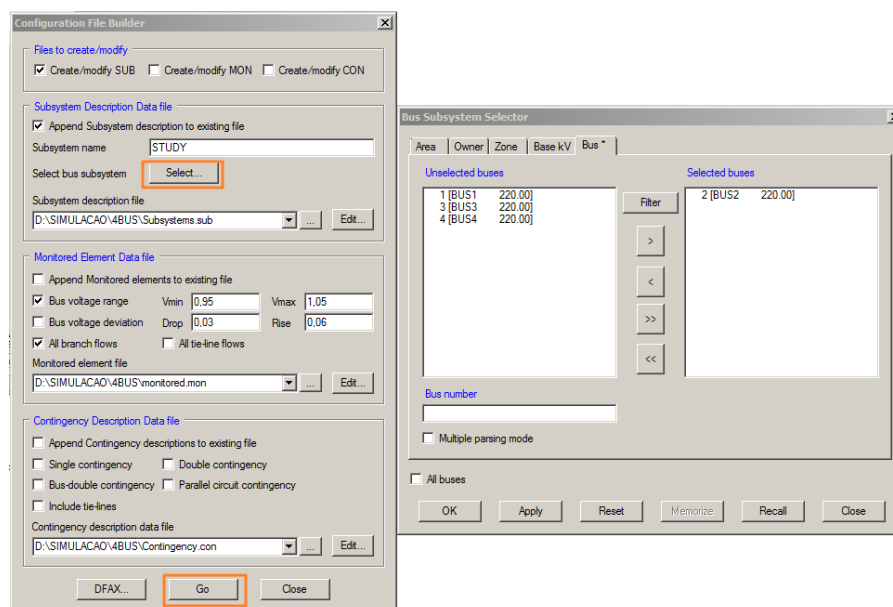


FIGURA 8-2 – SPIL CREATE STUDY

2.1. Remover vistos (✓) nas duas caixas correspondentes aos ficheiros MON e CON em “Create/modify...”

2.2. Subsystem Description Data File

2.2.1. Colocar visto (✓) da caixa “Append ... to existing file”

2.2.2. Definir o nome do subsistema de estudo (a aumentar geração) na área “Subsystem name”;

2.2.3. No botão “Select bus subsystem”, ir ao separador “bus” e seleccionar o barramento que se pretende maximizar (passando apenas este para a coluna da direita). Premir “**Apply**” seguido de “**OK**”;

2.2.4. Seleccionar a localização do ficheiro (*.sub) que vai guardar a informação dos subsistemas criados (deve ser a mesma indicada no item 1.2.4);

3. SUBSISTEMA OPPOSING

Efetuar o procedimento de alterar /incluir no ficheiro de subsistema (*.sub) as informações do sistema em estudo.

De acordo com a Figura 8-3, realizar os seguintes procedimentos:

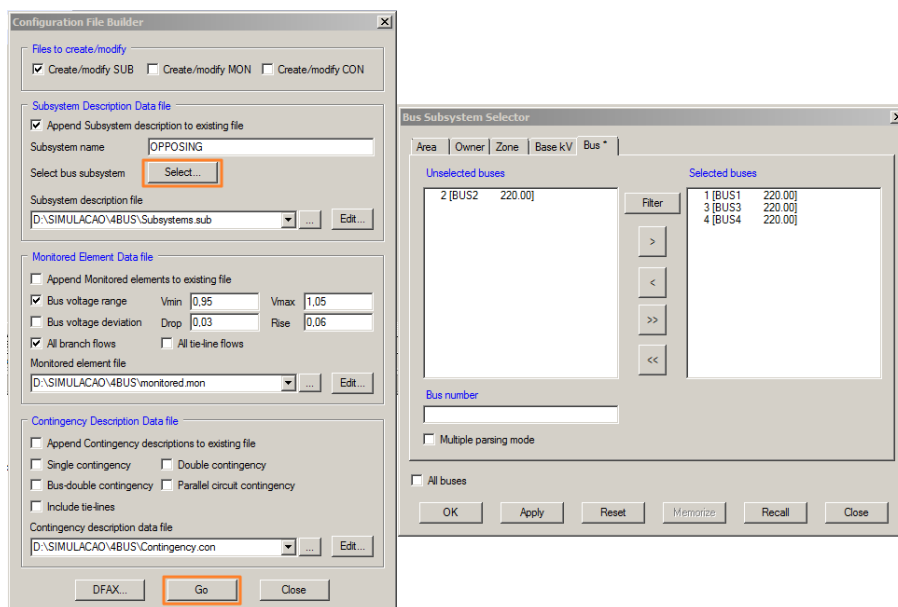


FIGURA 8-3 – SPIL CREATE OPPOSING

3.1. Subsystem Description Data File

- 3.1.1. Manter o visto (✓) na caixa “Append ... to existing file”
- 3.1.2. Definir o nome do subsistema de oposição (a reduzir geração) na área “Subsystem name”;
- 3.1.3. No botão “Select bus subsystem”, ir ao separador “bus” e seleccionar os restantes barramentos da rede (passando todos à excepção do de estudo para a coluna da direita). Premir “**Apply**” seguido de “**OK**”;
- 3.1.4. Seleccionar a localização do ficheiro (*.sub) que vai guardar a informação dos subsistemas criados (deve ser a mesma indicada no item 1.2.4);

4. PARTICIPATION FILE

De acordo com a Figura 8-4, realizar os seguintes procedimentos:

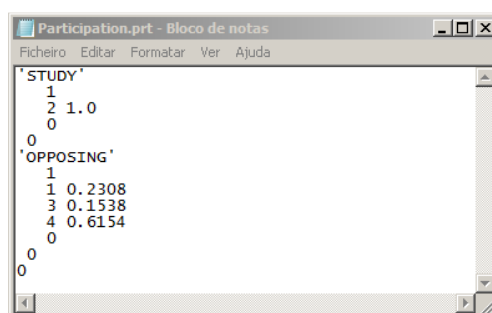


FIGURA 8-4 – FILE PARTICIPATION.PRT

4.1. Participation File

4.1.1. Criar um ficheiro através do bloco de notas que tenha a extensão .prt, mantendo a sintaxe apresentada na imagem.

4.1.2. Criar as percentagem de participação para os elementos do subsistema “Study”, subsistema que importará a carga.

4.1.3. Criar as percentagem de participação para os elementos do subsistema “Opposing”, subsistema que exportará a carga.

5. DFAX

No menu: *Power Flow/Linear Network/Build Distribution Factor Data Fax ...* criar o ficheiro DFax.dfx,

De acordo com a Figura 8-5 efetuar os seguintes procedimentos:

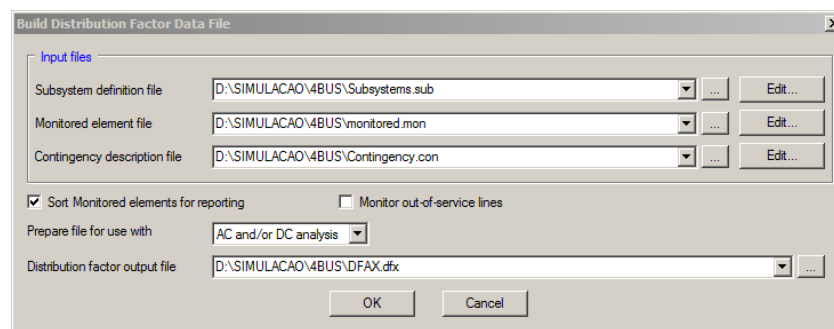


FIGURA 8-5 – BUILD DFAX

5.1. DFax File

5.1.1. Selecionar os ficheiros criados nas opções anteriores com a extensão .sub, .mon e .con.

5.1.2. Em “*Distribution factor output file*” selecionar a localização do ficheiro (*.dfx) que vai guardar a informação do DFAX.

6. EXECUTAR O SPIL

No menu: *Power Flow/Linear Network/Sequential Participation Interchange Limits...* efetuar os seguintes procedimentos para executar o SPIL, de acordo com a Figura 8-6.

FIGURA 8-6 – SPIL CONFIGURAÇÃO

6.1. DFax File

- 6.1.1. Selecionar o ficheiro DFax.dfx.
- 6.1.2. Selecionar o ficheiro Participartion.prt.
- 6.1.3. Selecionar o sistema de estudo e o sistema em oposição.
- 6.1.4. Selecionar o tipo de cálculo (DC).
- 6.1.5. Selecionar a quantidade para estudo de importação/ exportação, seguido de “Ok”
- 6.1.6. O PSSE irá apresentar o relatório do SPIL, conforme modelo da Figura 8-7.

LOADINGS AT OR ABOVE 100.0 %
OF RATING ARE MARKED WITH ***

										BASE CASE ----->					
				INCR.			PRE-	POST-	LIMIT						
				TRANS	RATING	SHIFT	SHIFT	SHIFT	CASE	CASE	DISTR.				
-----> F R O M ----->				-----> T O ----->	CMT	CAVAB	A	MW	MW	MW	FACTOR				
2	BS02	220.00	4	BS04	220.00	1	6.7	50	46.4	99.7*	50.0*	0.53297			
2	BS02	220.00	1	BS01	220.00	1	400.7	100	-0.4	24.6	1.2	0.25063			
2	BS02	220.00	3	BS03	220.00	1	443.6	100	4.0	25.6	5.5	0.21640			
3	BS03	220.00	4	BS04	220.00	1	894.4	80	24.0	30.3	24.4	0.06260			
1	BS01	220.00	4	BS04	220.00	1	2544.0	80	29.6	31.5	29.7	0.01983			

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSSE (R)E SAT, AUG 27 2016 15:27
PAGE 2

*** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR SUBSYSTEM SUBSYS A ***

SOLUTION OF 1 SYSTEM CONDITIONS ATTEMPTED 0 INSOLUBLE SYSTEM CONDITIONS

INCR.	TRANS	RATING	SHIFT	PRE- RATING	POST- RATING	LIMIT	DISTR.	CONTINGENCY DESCRIPTION			
CAVAB	-----> F R O M ----->	-----> T O ----->	CMT	FACTOR	MW	A/A	----->				
6.7	2	BS02	220.00	4	BS04	220.00	1	0.53297	46.4	50.0	BASE CASE
400.7	2	BS02	220.00	1	BS01	220.00	1	0.25063	-0.4	100.0	BASE CASE
443.6	2	BS02	220.00	3	BS03	220.00	1	0.21640	4.0	100.0	BASE CASE
894.4	3	BS03	220.00	4	BS04	220.00	1	0.06260	24.0	80.0	BASE CASE
2544.0	1	BS01	220.00	4	BS04	220.00	1	0.01983	29.6	80.0	BASE CASE

FIGURA 8-7 – SPIL RELATÓRIO

Anexo 2 – Código Python para Criação da Matriz de Sensibilidade

```
'''
Created on 05/01/2015 @author: Romeu Klug (romeu.klug@gmail.com)
'''

#=====
# MATRIZ DE SENSIBILIDADE
import sys, os, psspy, numpy as np
from FtAux import *
#=====
# Dados dos Barramentos e Transformadores
def buses():

    # Obtem todos os barramentos e transformadores da rede
    ierr, ibus = psspy.abusint(sid=-1, flag=2, string=('NUMBER'))
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass
    return ibus
#=====
# Dados das Linhas
def branch_data():

    # Informacao dos ramos
    ierr, iarray = psspy.abrnint(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1,
                                string=('FROMNUMBER', 'TONUMBER'))
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Parte real dos ramos
    ierr, rarray = psspy.abrnreal(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1,
                                string=('P', 'RATE', 'PCTMVARATE'))
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Valor complexo dos ramos
    ierr, xarray = psspy.abrncplx(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1,
                                string=('RX', 'PQ'))
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    return iarray
#=====
# Retorna a posicao de um valor no array 1D
def search_position_value(array, value):

    for x in range(0, len(array)):
        if array[x] == value:
            return x
        else:
            pass

    # Se nao encontrar o valor retorna erro (-1)
    return -1
#=====
# Matriz Zeros
def zeros_matrix_init():

    # Criacao da matriz de Ramos x Barramentos
    # Retorna o numero dos Ramos
    ierr, Nbranches = psspy.abrncount(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1)
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Retorna o numero dos barramentos
    ierr, Nbuses = psspy.abuscount(sid=-1, flag=2)
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Cria a matriz de zeros Ramos x Barramentos
    array = np.zeros((Nbuses, Nbranches))
    return array
#=====
```

```

# Cria a matriz de incidencia
def build_incidence_matrix(array, buses, branches):

    for x in range(0, len(branches[0])):
        array[search_position_value(buses[0], branches[0][x])][x] = 1
        array[search_position_value(buses[0], branches[1][x])][x] = -1

    return array

=====
# Inicializa a Matriz de Admitancias Primitivas
def build_primal_reactance_matrix():

    # Cria um array de Nbranches x Nbranches
    # Numero das Linhas
    ierr, Nbranches = psspy.abrncount(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1)
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Retorna um array de zeros Nbranches x Nbranches
    array = (np.zeros(shape=(Nbranches, Nbranches)))

    #Reactancia de cada Ramo
    ierr, Reactance = psspy.abrncplx(sid=-1, owner=1, ties=3, flag=3, entry=1,
                                     string='RX')
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Retorna a Matriz de Admitancias Primitiva
    for x in range(0, Nbranches):
        array[x][x] = -(1/(np.imag(Reactance[0][x])))

    return array

=====
# Cria a Matriz de Susceptancias
def build_reactance_matrix(b, A):

    # Matriz de Susceptancias [B] = [A] * [b] * [A].T

    B = np.dot(np.dot(A, b), A.T);

    return B

=====
# Cria a Matriz de Sensibilidade
def build_sensitivity_matrix(b, A, B):

    # Matriz Sensibilidade [S] = [b] * [A_ref].T * [B_ref]^-1

    # Obtem o codigo do barramento
    ierr, ref_bus = psspy.abusint(sid=-1, flag=2, string='TYPE')
    if ierr <> 0:
        print("\n\n\t\t\tIerr:... \n\n"); print ierr
    else:
        pass

    # Procura pelo barramento de balanço (code = 3)
    position_ref_bus = search_position_value(ref_bus[0], 3)
    # position_ref_bus = 3 # (valor manual)

    # remove a coluna de acordo com o barramento de balanço
    A_ref_t = np.delete(A.T, position_ref_bus, 1);

    # remove a linha de acordo com o barramento de balanço
    B_ref = np.delete(B, position_ref_bus, 1)
    B_ref = np.delete(B_ref, position_ref_bus, 0);

    # Inverte a Matriz B_ref
    B_ref_inv = np.linalg.inv(B_ref);

    # Calcula a matriz de sensibilidade
    S = np.dot(np.dot(b, A_ref_t), B_ref_inv);

    # Inclui uma coluna de zeros no na posicao do barramento balanço
    S = np.insert(S, position_ref_bus, 0, axis=1);

    return S

```

Anexo 3 – Exemplo de Análise Estatística

A Tabela 8-1, apresentam os dados das 50 simulações (i), sendo apresentado em qual iteração foi identificada a máxima injeção nodal (x). Os dados da tabela foram retirados do Anexo 13 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 2 – Simulações.

TABELA 8-1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

i	x	$P(x)$	13	238	3,9E-03	26	110	2,0E-03	39	357	1,7E-03
1	195	3,8E-03	14	325	2,5E-03	27	206	3,9E-03	40	329	2,4E-03
2	179	3,5E-03	15	124	2,3E-03	28	162	3,2E-03	41	293	3,2E-03
3	198	3,8E-03	16	5	3,5E-04	29	148	2,9E-03	42	121	2,3E-03
4	244	3,9E-03	17	195	3,8E-03	30	260	3,7E-03	43	333	2,3E-03
5	103	1,9E-03	18	96	1,7E-03	31	357	1,7E-03	44	341	2,1E-03
6	322	2,5E-03	19	146	2,9E-03	32	284	3,4E-03	45	148	2,9E-03
7	179	3,5E-03	20	213	3,9E-03	33	184	3,6E-03	46	270	3,6E-03
8	342	2,1E-03	21	134	2,58511E-03	34	272	3,6E-03	47	15	4,4E-04
9	360	1,7E-03	22	228	3,9E-03	35	218	3,9E-03	48	320	2,6E-03
10	86	1,5E-03	23	39	7,0E-04	36	87	1,5E-03	49	295	3,1E-03
11	321	2,6E-03	24	349	1,9E-03	37	309	2,8E-03	50	340	2,1E-03
12	322	2,5E-03	25	345	2,0E-03	38	307	2,9E-03			

Onde:

i – Número da simulação

x – iteração em que a aplicação identificou a máxima injeção nodal

$P(x)$ – Função Densidade de Probabilidade

Determinação da Média

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 227$$

Desvio Padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|^2} = 101$$

Função Densidade de Probabilidade

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2}$$

$$P(1) = \frac{1}{101 \times \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{195-227}{101}\right)^2} = 3,8E-03$$

Anexo 4 – Características das Redes IEEE 14 Adaptada e Rede de 4 Barramentos.

A rede IEEE 14 utilizada nas simulações, abaixo apresentada foi adaptada ao problema e é baseada na Rede IEEE 14 BUS [20].

DADOS DA REDE IEEE 14 ADAPTADA

TABELA 8-2 DADOS DOS BARRAMENTOS E GERAÇÃO REDE IEEE 14 BUS ADAPTADA

BUS & GENERATION DATA											
Bus Number	Bus Name	Bas kV	Code	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qgen (Mvar)	Qmax (Mvar)	Qmin (Mvar)	Mbase (MVA)	Vsched (pu)
1	BUS 1	400	3	119,30	160,00	10,00	14,05	10,00	0,00	120,00	1,05
2	BUS 2	400	2	50,00	80,00	20,00	8,60	50,00	-42,00	65,00	1,045
3	BUS 3	400	2	40,00	50,00	20,00	23,40	40,00	23,40	35,00	1,01
4	BUS 4	400	1	---	---	---	---	---	---	---	---
5	BUS 5	400	1	---	---	---	---	---	---	---	---
6	BUS 6	150	2	30,00	80,00	20,00	30,26	50,00	-42,00	62,00	1
7	BUS 7	220	1	---	---	---	---	---	---	---	---
8	BUS 8	60	1	---	---	---	---	---	---	---	---
9	BUS 9	150	1	---	---	---	---	---	---	---	---
10	BUS 10	150	2	20,00	80,00	20,00	15,17	50,00	-42,00	62,00	1
11	BUS 11	150	1	---	---	---	---	---	---	---	---
12	BUS 12	150	1	---	---	---	---	---	---	---	---
13	BUS 13	150	1	---	---	---	---	---	---	---	---
14	BUS 14	150	1	---	---	---	---	---	---	---	---

TABELA 8-3 DADOS DA CARGA, GERAÇÃO EÓLICA E BATERIAS REDE IEEE 14 BUS ADAPTADA

LOAD & WIND GENERATION & FIXED SHUNT DATA									
Bus Number	Bus Name	Bas kV	LOAD		WIND GENERATION		FIXED SHUNT		
			Pload (MW)	Qload (Mvar)	Pwind (MW)	Qwind (Mvar)	G-Shunt (MW)	B-Shunt (Mvar)	
2	BUS 2	220	21,70	12,70	---	---	---	---	
3	BUS 3	220	94,20	19,10	---	---	---	---	
4	BUS 4	220	47,80	-3,90	---	---	---	---	
5	BUS 5	220	7,60	1,60	---	---	---	---	
6	BUS 6	150	11,20	7,50	---	---	---	---	
9	BUS 9	150	29,50	16,60	---	---	---	---	
10	BUS 10	150	9,00	5,80	---	---	---	---	
11	BUS 11	150	3,50	1,80	---	---	---	---	
12	BUS 12	150	6,10	1,60	---	---	---	---	
13	BUS 13	150	13,80	5,80	---	---	---	---	
14	BUS 14	150	14,90	5,00	---	---	---	---	

TABELA 8-4 DADOS DOS TRANSFORMADORES REDE IEEE 14 BUS ADAPTADA

TRANSFORMERS DATA						
From Bus Number	To Bus Number	Id	Specified R (pu or watts)	Specified X (pu)	Wnd 2 Ratio (pu or kV)	Rate (MVA)
4	7	1	0,00000	0,20912	0,978	100
4	9	1	0,00000	0,55618	0,969	100
5	6	1	0,00000	0,25202	0,932	46
7	8	1	0,00000	0,17615	1,000	100
7	9	1	0,00000	0,11001	1,000	100

TABELA 8-5 DADOS DOS RAMOS REDE IEEE 14 BUS ADAPTADA

BRANCHES DATA						
From Bus Number	To Bus Number	Id	Line R (pu)	Line X (pu)	Charging B (pu)	Rate (MVA)
1	2	1	0,00000	0,05917	0,00000	180
1	5	1	0,00000	0,22304	0,00000	80
2	3	1	0,00000	0,19797	0,00000	80
2	4	1	0,00000	0,17632	0,00000	80
2	5	1	0,00000	0,17388	0,00000	80
3	4	1	0,00000	0,17103	0,00000	80
4	5	1	0,00000	0,04211	0,00000	80
6	11	1	0,00000	0,19890	0,00000	50
6	12	1	0,00000	0,25581	0,00000	50
6	13	1	0,00000	0,13027	0,00000	50
9	10	1	0,00000	0,08450	0,00000	38,5
9	14	1	0,00000	0,27038	0,00000	50
10	11	1	0,00000	0,19207	0,00000	50
12	13	1	0,00000	0,19988	0,00000	50
13	14	1	0,00000	0,34802	0,00000	50

DADOS DA REDE 4 BARRAMENTOS

TABELA 8-6 DADOS DOS BARRAMENTOS E GERAÇÃO REDE 4 BARRAMENTOS

BRANCHES DATA						
From Bus Number	To Bus Number	Id	Line R (pu)	Line X (pu)	Charging B (pu)	Rate (MVA)
1	2	1	0,00000	0,10000	0,00000	100
1	4	1	0,00000	0,08000	0,00000	80
2	3	1	0,00000	0,10000	0,00000	100
2	4	1	0,00000	0,05000	0,00000	50
3	4	1	0,00000	0,08000	0,00000	80

TABELA 8-7 DADOS DA CARGA, GERAÇÃO EÓLICA E BATERIAS REDE 4 BARRAMENTOS

BUS & GENERATION DATA											
Bus Number	Bus Name	Bas kV	Code	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qgen (Mvar)	Qmax (Mvar)	Qmin (Mvar)	Mbase (MVA)	Vsched (pu)
1	BUS 1	220	3	30,00	9999,00	-9999,00	0,35	9999,00	-9999,00	100,00	1,00
2	BUS 2	220	2	100,00	9999,00	-9999,00	0,55	9999,00	-9999,00	100,00	1,00
3	BUS 3	220	2	20,00	9999,00	-9999,00	0,24	9999,00	-9999,00	100,00	1,00
4	BUS 4	220	2	80,00	9999,00	-9999,00	1,12	9999,00	-9999,00	100,00	1.00

TABELA 8-8 DADOS DOS RAMOS REDE 4 BARRAMENTOS

LOAD & WIND GENERATION & FIXED SHUNT DATA								
			LOAD		WIND GENERATION		FIXED SHUNT	
Bus Number	Bus Name	Bas kV	Pload (MW)	Qload (Mvar)	Pwind (MW)	Qwind (Mvar)	G-Shunt (MW)	B-Shunt (Mvar)
2	BUS 2	220	50,00	---	---	---	---	---
4	BUS 3	220	180,00	---	---	---	---	---

CENARIO
Tipo de Injecao : Injecao Nao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 2

Rate das Linhas - Ordenado					Rate das Linhas - Ordenado					Rate das Linhas - Ordenado									
Br	to	Br	Rate	Valor	Br	to	Br	Rate	Valor	Br	to	Br	Rate	Valor					
[	2.	3.	80.	46.1	[	9.	10.	38.5	13.5	[	4.	7.	100.	15.2	[	3.	4.	80.	8.1
57.6]					35.]					15.2]					10.2]				
[	2.	4.	80.	43.8	[	5.	6.	46.	14.1	[	7.	9.	100.	15.2	[	4.	9.	100.	8.7
54.8]					30.7]					15.2]					8.7]				
[	4.	5.	80.	36.	[	1.	5.	80.	22.	[	13.	14.	50.	7.1	[	10.	11.	50.	2.5
45.]					27.5]					14.1]					4.9]				
[	2.	5.	80.	35.7	[	6.	12.	50.	8.1	[	1.	2.	180.	22.	[	12.	13.	50.	2.
44.6]					16.1]					12.2]					3.9]				
[	6.	13.	50.	18.9	[	9.	14.	50.	7.8	[	6.	11.	50.	6.	[	7.	8.	100.	0.
37.8]					15.7]					11.9]					0.]				

Iter	Fitness																		
[1.	167.6]	[34.	168.8]	[67.	168.8]	[100.	168.8]	[133.	169.1]	[166.	169.1]	[199.	169.1]	[232.	169.1]	[265.	169.1]	[298.	169.2]
[2.	167.6]	[35.	168.8]	[68.	168.8]	[101.	168.8]	[134.	169.1]	[167.	169.1]	[200.	169.1]	[233.	169.1]	[266.	169.1]	[299.	169.2]
[3.	168.8]	[36.	168.8]	[69.	168.8]	[102.	168.8]	[135.	169.1]	[168.	169.1]	[201.	169.1]	[234.	169.1]	[267.	169.1]	[300.	169.2]
[4.	168.8]	[37.	168.8]	[70.	168.8]	[103.	169.1]	[136.	169.1]	[169.	169.1]	[202.	169.1]	[235.	169.1]	[268.	169.1]	[301.	169.2]
[5.	168.8]	[38.	168.8]	[71.	168.8]	[104.	169.1]	[137.	169.1]	[170.	169.1]	[203.	169.1]	[236.	169.1]	[269.	169.1]	[302.	169.2]
[6.	168.8]	[39.	168.8]	[72.	168.8]	[105.	169.1]	[138.	169.1]	[171.	169.1]	[204.	169.1]	[237.	169.1]	[270.	169.1]	[303.	169.2]
[7.	168.8]	[40.	168.8]	[73.	168.8]	[106.	169.1]	[139.	169.1]	[172.	169.1]	[205.	169.1]	[238.	169.1]	[271.	169.1]	[304.	169.2]
[8.	168.8]	[41.	168.8]	[74.	168.8]	[107.	169.1]	[140.	169.1]	[173.	169.1]	[206.	169.1]	[239.	169.1]	[272.	169.1]	[305.	169.2]
[9.	168.8]	[42.	168.8]	[75.	168.8]	[108.	169.1]	[141.	169.1]	[174.	169.1]	[207.	169.1]	[240.	169.1]	[273.	169.1]	[306.	169.2]
[10.	168.8]	[43.	168.8]	[76.	168.8]	[109.	169.1]	[142.	169.1]	[175.	169.1]	[208.	169.1]	[241.	169.1]	[274.	169.1]	[307.	169.2]
[11.	168.8]	[44.	168.8]	[77.	168.8]	[110.	169.1]	[143.	169.1]	[176.	169.1]	[209.	169.1]	[242.	169.1]	[275.	169.1]	[308.	169.2]
[12.	168.8]	[45.	168.8]	[78.	168.8]	[111.	169.1]	[144.	169.1]	[177.	169.1]	[210.	169.1]	[243.	169.1]	[276.	169.1]	[309.	169.2]
[13.	168.8]	[46.	168.8]	[79.	168.8]	[112.	169.1]	[145.	169.1]	[178.	169.1]	[211.	169.1]	[244.	169.1]	[277.	169.1]	[310.	169.2]
[14.	168.8]	[47.	168.8]	[80.	168.8]	[113.	169.1]	[146.	169.1]	[179.	169.1]	[212.	169.1]	[245.	169.1]	[278.	169.1]	[311.	169.2]
[15.	168.8]	[48.	168.8]	[81.	168.8]	[114.	169.1]	[147.	169.1]	[180.	169.1]	[213.	169.1]	[246.	169.1]	[279.	169.1]	[312.	169.2]
[16.	168.8]	[49.	168.8]	[82.	168.8]	[115.	169.1]	[148.	169.1]	[181.	169.1]	[214.	169.1]	[247.	169.1]	[280.	169.1]	[313.	169.2]
[17.	168.8]	[50.	168.8]	[83.	168.8]	[116.	169.1]	[149.	169.1]	[182.	169.1]	[215.	169.1]	[248.	169.1]	[281.	169.1]	[314.	169.2]
[18.	168.8]	[51.	168.8]	[84.	168.8]	[117.	169.1]	[150.	169.1]	[183.	169.1]	[216.	169.1]	[249.	169.1]	[282.	169.1]	[315.	169.2]
[19.	168.8]	[52.	168.8]	[85.	168.8]	[118.	169.1]	[151.	169.1]	[184.	169.1]	[217.	169.1]	[250.	169.1]	[283.	169.1]	[316.	169.2]
[20.	168.8]	[53.	168.8]	[86.	168.8]	[119.	169.1]	[152.	169.1]	[185.	169.1]	[218.	169.1]	[251.	169.1]	[284.	169.1]	[317.	169.2]
[21.	168.8]	[54.	168.8]	[87.	168.8]	[120.	169.1]	[153.	169.1]	[186.	169.1]	[219.	169.1]	[252.	169.1]	[285.	169.1]	[318.	169.2]
[22.	168.8]	[55.	168.8]	[88.	168.8]	[121.	169.1												

CLICLO DE SIMULACOES : 50

Melhores Solucoes das 50 Simulacoes

[illegible]

Anexo 6 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SUN, SEP 25 2016 10:13

IEEE 14 BUS

X-----	FROM BUS	-----X	BASE CHANGE	GEN.	LOAD X-----	TO BUS	-----X	BASE CASE	RATE1	CHANGE CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	ANGLE ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA CKT	MW %	MVA	MW %
1	BUS1	220.00 1	0.0	0.0	0.0	2	BUS2	220.00 1 1	-22.0 12.2	180.0	
						5	BUS5	220.00 1 1	22.0 27.5	80.0	
2	BUS2	220.00 1	0.7	169.3	21.7	1	BUS1	220.00 1 1	22.0 12.2	180.0	
						3	BUS3	220.00 1 1	46.1 57.6	80.0	
						4	BUS4	220.00 1 1	43.8 54.8	80.0	
						5	BUS5	220.00 1 1	35.7 44.6	80.0	
3	BUS3	220.00 1	-4.5	40.0	94.2	2	BUS2	220.00 1 1	-46.1 57.6	80.0	
						4	BUS4	220.00 1 1	-8.1 10.2	80.0	
4	BUS4	220.00 1	-3.7	0.0	47.8	2	BUS2	220.00 1 1	-43.8 54.8	80.0	
						3	BUS3	220.00 1 1	8.1 10.2	80.0	
						5	BUS5	220.00 1 1	-36.0 45.0	80.0	
						7	BUS7	60.000 1 2	15.2 15.2	100.0	
						9	BUS9	150.00 1 2	8.7 8.7	100.0	
5	BUS5	220.00 1	-2.8	0.0	7.6	1	BUS1	220.00 1 1	-22.0 27.5	80.0	
						2	BUS2	220.00 1 1	-35.7 44.6	80.0	
						4	BUS4	220.00 1 1	36.0 45.0	80.0	
						6	BUS6	150.00 1 2	14.1 30.7	46.0	
6	BUS6	150.00 1	-4.9	30.0	11.2	5	BUS5	220.00 1 2	-14.1 30.7	46.0	
						11	BUS11	150.00 1 1	6.0 11.9	50.0	
						12	BUS12	150.00 1 1	8.1 16.1	50.0	
						13	BUS13	150.00 1 1	18.9 37.8	50.0	
7	BUS7	60.000 1	-5.5	0.0	0.0	4	BUS4	220.00 1 2	-15.2 15.2	100.0	
						8	BUS8	15.000 1 2	0.0 0.0	100.0	
						9	BUS9	150.00 1 1	15.2 15.2	100.0	
8	BUS8	15.000 1	-5.5	0.0	0.0	7	BUS7	60.000 1 2	0.0 0.0	100.0	
9	BUS9	150.00 1	-6.5	0.0	29.5	4	BUS4	220.00 1 2	-8.7 8.7	100.0	
						7	BUS7	60.000 1 1	-15.2 15.2	100.0	
						10	BUS10	150.00 1 1	-13.5 35.0	38.5	
						14	BUS14	150.00 1 1	7.8 15.7	50.0	
10	BUS10	150.00 1	-5.8	20.0	9.0	9	BUS9	150.00 1 1	13.5 35.0	38.5	
						11	BUS11	150.00 1 1	-2.5 4.9	50.0	
11	BUS11	150.00 1	-5.5	0.0	3.5	6	BUS6	150.00 1 1	-6.0 11.9	50.0	
						10	BUS10	150.00 1 1	2.5 4.9	50.0	
12	BUS12	150.00 1	-6.0	0.0	6.1	6	BUS6	150.00 1 1	-8.1 16.1	50.0	
						13	BUS13	150.00 1 1	2.0 3.9	50.0	
13	BUS13	150.00 1	-6.3	0.0	13.8	6	BUS6	150.00 1 1	-18.9 37.8	50.0	
						12	BUS12	150.00 1 1	-2.0 3.9	50.0	
						14	BUS14	150.00 1 1	7.1 14.1	50.0	
14	BUS14	150.00 1	-7.7	0.0	14.9	9	BUS9	150.00 1 1	-7.8 15.7	50.0	
						13	BUS13	150.00 1 1	-7.1 14.1	50.0	

Anexo 7 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 3 – Simulações

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Nao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 3

Matriz Geracao Inicial

[[119.3 50. 40. 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz GBest Inicial

[[5.3 50. 154. 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz PBest Final

[[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]

[-0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]
[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]

Matriz GBest Final

[[0. 50. 159.3 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]]

Rate das Linhas - Ordenado

Br	to Br	Rate	Valor	%
3.	4.	80.	44.4	55.5
6.	13.	50.	18.4	36.8
9.	10.	38.5	12.5	32.6
5.	6.	46.	12.6	27.4
2.	3.	80.	20.7	25.8

2.	4.	80.	19.9	24.9
2.	5.	80.	18.	22.5
9.	14.	50.	8.5	16.9
4.	7.	100.	16.1	16.1
7.	9.	100.	16.1	16.1

6.	12.	50.	7.9	15.9
1.	5.	80.	11.1	13.9
13.	14.	50.	6.4	12.9
4.	5.	80.	8.9	11.1
6.	11.	50.	5.	10.1

4.	9.	100.	9.3	9.3
1.	2.	180.	11.1	6.2
12.	13.	50.	1.8	3.7
10.	11.	50.	1.5	3.1
7.	8.	100.	0.	0.

Matriz Evolucao do Fitness

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 131

Iter Fitness

1. 154.]	34. 157.7]	67. 159.1]	100. 159.1]	133. 159.3]	166. 159.3]	199. 159.3]	232. 159.3]	265. 159.3]	298. 159.3]
2. 154.2]	35. 158.3]	68. 159.1]	101. 159.1]	134. 159.3]	167. 159.3]	200. 159.3]	233. 159.3]	266. 159.3]	299. 159.3]
3. 157.4]	36. 158.3]	69. 159.1]	102. 159.1]	135. 159.3]	168. 159.3]	201. 159.3]	234. 159.3]	267. 159.3]	300. 159.3]
4. 157.4]	37. 158.3]	70. 159.1]	103. 159.1]	136. 159.3]	169. 159.3]	202. 159.3]	235. 159.3]	268. 159.3]	301. 159.3]
5. 157.4]	38. 158.3]	71. 159.1]	104. 159.1]	137. 159.3]	170. 159.3]	203. 159.3]	236. 159.3]	269. 159.3]	302. 159.3]
6. 157.4]	39. 158.3]	72. 159.1]	105. 159.1]	138. 159.3]	171. 159.3]	204. 159.3]	237. 159.3]	270. 159.3]	303. 159.3]
7. 157.7]	40. 158.3]	73. 159.1]	106. 159.1]	139. 159.3]	172. 159.3]	205. 159.3]	238. 159.3]	271. 159.3]	304. 159.3]
8. 157.7]	41. 158.3]	74. 159.1]	107. 159.1]	140. 159.3]	173. 159.3]	206. 159.3]	239. 159.3]	272. 159.3]	305. 159.3]
9. 157.7]	42. 158.3]	75. 159.1]	108. 159.1]	141. 159.3]	174. 159.3]	207. 159.3]	240. 159.3]	273. 159.3]	306. 159.3]
10. 157.7]	43. 158.3]	76. 159.1]	109. 159.1]	142. 159.3]	175. 159.3]	208. 159.3]	241. 159.3]	274. 159.3]	307. 159.3]
11. 157.7]	44. 158.3]	77. 159.1]	110. 159.1]	143. 159.3]	176. 159.3]	209. 159.3]	242. 159.3]	275. 159.3]	308. 159.3]
12. 157.7]	45. 158.3]	78. 159.1]	111. 159.1]	144. 159.3]	177. 159.3]	210. 159.3]	243. 159.3]	276. 159.3]	309. 159.3]
13. 157.7]	46. 158.3]	79. 159.1]	112. 159.1]	145. 159.3]	178. 159.3]	211. 159.3]	244. 159.3]	277. 159.3]	310. 159.3]
14. 157.7]	47. 159.1]	80. 159.1]	113. 159.1]	146. 159.3]	179. 159.3]	212. 159.3]	245. 159.3]	278. 159.3]	311. 159.3]
15. 157.7]	48. 159.1]	81. 159.1]	114. 159.1]	147. 159.3]	180. 159.3]	213. 159.3]	246. 159.3]	279. 159.3]	312. 159.3]
16. 157.7]	49. 159.1]	82. 159.1]	115. 159.1]	148. 159.3]	181. 159.3]	214. 159.3]	247. 159.3]	280. 159.3]	313. 159.3]
17. 157.7]	50. 159.1]	83. 159.1]	116. 159.1]	149. 159.3]	182. 159.3]	215. 159.3]	248. 159.3]	281. 159.3]	314. 159.3]
18. 157.7]	51. 159.1]	84. 159.1]	117. 159.1]	150. 159.3]	183. 159.3]	216. 159.3]	249. 159.3]	282. 159.3]	315. 159.3]
19. 157.7]	52. 159.1]	85. 159.1]	118. 159.1]	151. 159.3]	184. 159.3]	217. 159.3]	250. 159.3]	283. 159.3]	316. 159.3]
20. 157.7]	53. 159.1]	86. 159.1]	119. 159.1]	152. 159.3]	185. 159.3]	218. 159.3]	251. 159.3]	284. 159.3]	317. 159.3]
21. 157.7]	54. 159.1]	87. 159.1]	120. 159.1]	153. 159.3]	186. 159.3]	219. 159.3]	252. 159.3]	285. 159.3]	318. 159.3]
22. 157.7]	55. 159.1]	88. 159.1]	121. 159.1]	154. 159.3]	187. 159.3]	220. 159.3]	253. 159.3]	286. 159.3]	319. 159.3]
23. 157.7]	56. 159.1]	89. 159.1]	122. 159.1]	155. 159.3]	188. 159.3]	221. 159.3]	254. 159.3]	287. 159.3]	320. 159.3]
24. 157.7]	57. 159.1]	90. 159.1]	123. 159.1]	156. 159.3]	189. 159.3]	222. 159.3]	255. 159.3]	288. 159.3]	321. 159.3]
25. 157.7]	58. 159.1]	91. 159.1]	124. 159.1]	157. 159.3]	190. 159.3]	223. 159.3]	256. 159.3]	289. 159.3]	322. 159.3]
26. 157.7]	59. 159.1]	92. 159.1]	125. 159.1]	158. 159.3]	191. 159.3]	224. 159.3]	257. 159.3]	290. 159.3]	323. 159.3]
27. 157.7]	60. 159.1]	93. 159.1]	126. 159.1]	159. 159.3]	192. 159.3]	225. 159.3]	258. 159.3]	291. 159.3]	324. 159.3]
28. 157.7]	61. 159.1]	94. 159.1]	127. 159.1]	160. 159.3]	193. 159.3]	226. 159.3]	259. 159.3]	292. 159.3]	325. 159.3]
29. 157.7]	62. 159.1]	95. 159.1]	128. 159.1]	161. 159.3]	194. 159.3]	227. 159.3]	260. 159.3]	293. 159.3]	326. 159.3]
30. 157.7]	63. 159.1]	96. 159.1]	129. 159.1]	162. 159.3]	195. 159.3]	228. 159.3]	261. 159.3]	294. 159.3]	327. 159.3]
31. 157.7]	64. 159.1]	97. 159.1]	130. 159.1]	163. 159.3]	196. 159.3]	229. 159.3]	262. 159.3]	295. 159.3]	328. 159.3]
32. 157.7]	65. 159.1]	98. 159.1]	131. 159.3]	164. 159.3]	197. 159.3]	230. 159.3]	263. 159.3]	296. 159.3]	329. 159.3]
33. 157.7]	66. 159.1]	99. 159.1]	132. 159.3]	165. 159.3]	198. 159.3]	231. 159.3]	264. 159.3]	297. 159.3]	330. 159.3]

CICLO DE SIMULACOES : 50

Melhores Solucoes das 50 Simulacoes

142

Anexo 8 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SAT, SEP 10 2016 2:18

IEEE 14 BUS

X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	MW	%	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0	0.0	0.0									
							2	BUS2	220.00	1	1	-11.1	6.2	180.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	11.1	13.9	80.0	
2	BUS2	220.00	1	0.4	50.0	21.7									
							1	BUS1	220.00	1	1	11.1	6.2	180.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-20.7	25.8	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	19.9	24.9	80.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	18.0	22.5	80.0	
3	BUS3	220.00	1	2.7	159.3	94.2									
							2	BUS2	220.00	1	1	20.7	25.8	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	44.4	55.5	80.0	
4	BUS4	220.00	1	-1.6	0.0	47.8									
							2	BUS2	220.00	1	1	-19.9	24.9	80.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-44.4	55.5	80.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	-8.9	11.1	80.0	
							7	BUS7	60.000	1	2	16.1	16.1	100.0	
							9	BUS9	150.00	1	2	9.3	9.3	100.0	
5	BUS5	220.00	1	-1.4	0.0	7.6									
							1	BUS1	220.00	1	1	-11.1	13.9	80.0	
							2	BUS2	220.00	1	1	-18.0	22.5	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	8.9	11.1	80.0	
							6	BUS6	150.00	1	2	12.6	27.4	46.0	
6	BUS6	150.00	1	-3.2	30.0	11.2									
							5	BUS5	220.00	1	2	-12.6	27.4	46.0	
							11	BUS11	150.00	1	1	5.0	10.1	50.0	
							12	BUS12	150.00	1	1	7.9	15.9	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	18.4	36.8	50.0	
7	BUS7	60.000	1	-3.6	0.0	0.0									
							4	BUS4	220.00	1	2	-16.1	16.1	100.0	
							8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0	
							9	BUS9	150.00	1	1	16.1	16.1	100.0	
8	BUS8	15.000	1	-3.6	0.0	0.0									
							7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0	
9	BUS9	150.00	1	-4.6	0.0	29.5									
							4	BUS4	220.00	1	2	-9.3	9.3	100.0	
							7	BUS7	60.000	1	1	-16.1	16.1	100.0	
							10	BUS10	150.00	1	1	-12.5	32.6	38.5	
							14	BUS14	150.00	1	1	8.5	16.9	50.0	
10	BUS10	150.00	1	-4.0	20.0	9.0									
							9	BUS9	150.00	1	1	12.5	32.6	38.5	
							11	BUS11	150.00	1	1	-1.5	3.1	50.0	
11	BUS11	150.00	1	-3.8	0.0	3.5									
							6	BUS6	150.00	1	1	-5.0	10.1	50.0	
							10	BUS10	150.00	1	1	1.5	3.1	50.0	
12	BUS12	150.00	1	-4.4	0.0	6.1									
							6	BUS6	150.00	1	1	-7.9	15.9	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	1.8	3.7	50.0	
13	BUS13	150.00	1	-4.6	0.0	13.8									
							6	BUS6	150.00	1	1	-18.4	36.8	50.0	
							12	BUS12	150.00	1	1	-1.8	3.7	50.0	
							14	BUS14	150.00	1	1	6.4	12.9	50.0	
14	BUS14	150.00	1	-5.9	0.0	14.9									
							9	BUS9	150.00	1	1	-8.5	16.9	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	-6.4	12.9	50.0	

CENÁRIO																								
Tipo de Injecao : Injecao Nao Simultanea					Tipo de Calculo : Maximizacao					Tipo Compensacao : PSO					Tipo de Rede : Real					Maximizacao do Barramento: 6				
Matriz Geracao Inicial												Matriz GBest Inicial												
[[119.3 50. 40. 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]]															[[36.3 50. 40. 0. 0. 113. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]]									
Matriz PBest Final																								
[[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]															[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]									
[27.2 50. 40. 0. 0. 122.1 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0.]																								

CICLO DE SIMULACOES : 50

Melhores Solucoes das 50 Simulacoes

145

Anexo 10 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 6 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SAT, SEP 10 2016 12:39																
IEEE 14 BUS																
X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA	
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	
1	BUS1	220.00	1	0.0	27.2	0.0										
							2	BUS2	220.00	1	1	20.0	11.1	180.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	7.2	9.1	80.0		
2	BUS2	220.00	1	-0.7	50.0	21.7										
							1	BUS1	220.00	1	1	-20.0	11.1	180.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	31.8	39.7	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	14.0	17.4	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	2.5	3.1	80.0		
3	BUS3	220.00	1	-4.3	40.0	94.2										
							2	BUS2	220.00	1	1	-31.8	39.7	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	-22.4	28.0	80.0		
4	BUS4	220.00	1	-2.1	0.0	47.8										
							2	BUS2	220.00	1	1	-14.0	17.4	80.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	22.4	28.0	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	-48.1	60.1	80.0		
							7	BUS7	60.000	1	2	-5.2	5.2	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	2	-3.0	3.0	100.0		
5	BUS5	220.00	1	-0.9	0.0	7.6										
							1	BUS1	220.00	1	1	-7.2	9.1	80.0		
							2	BUS2	220.00	1	1	-2.5	3.1	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	48.1	60.1	80.0		
							6	BUS6	150.00	1	2	-46.0	99.9	46.0		
6	BUS6	150.00	1	5.7	122.1	11.2										
							5	BUS5	220.00	1	2	46.0	99.9	46.0		
							11	BUS11	150.00	1	1	25.2	50.5	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	10.9	21.8	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	28.8	57.6	50.0		
7	BUS7	60.000	1	-1.5	0.0	0.0										
							4	BUS4	220.00	1	2	5.2	5.2	100.0		
							8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	1	-5.2	5.2	100.0		
8	BUS8	15.000	1	-1.5	0.0	0.0										
							7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
9	BUS9	150.00	1	-1.1	0.0	29.5										
							4	BUS4	220.00	1	2	3.0	3.0	100.0		
							7	BUS7	60.000	1	1	5.2	5.2	100.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	-32.7	85.0	38.5		
							14	BUS14	150.00	1	1	-4.9	9.8	50.0		
10	BUS10	150.00	1	0.4	20.0	9.0										
							9	BUS9	150.00	1	1	32.7	85.0	38.5		
							11	BUS11	150.00	1	1	-21.7	43.5	50.0		
11	BUS11	150.00	1	2.8	0.0	3.5										
							6	BUS6	150.00	1	1	-25.2	50.5	50.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	21.7	43.5	50.0		
12	BUS12	150.00	1	4.1	0.0	6.1										
							6	BUS6	150.00	1	1	-10.9	21.8	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	4.8	9.6	50.0		
13	BUS13	150.00	1	3.6	0.0	13.8										
							6	BUS6	150.00	1	1	-28.8	57.6	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	-4.8	9.6	50.0		
							14	BUS14	150.00	1	1	19.8	39.6	50.0		
14	BUS14	150.00	1	-0.4	0.0	14.9										
							9	BUS9	150.00	1	1	4.9	9.8	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	-19.8	39.6	50.0		

CENARIO
 Tipo de Injecao : Injecao Nao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 10

[illegible]

Rate das Linhas - Ordenado

Matriz Evolucao do Fitness
Ultima iteracao com Upate do Fitness: 115

147

CICLO DE SIMULACOES : 50

Melhores Solucoes

148

Anexo 12 - IEEE14 – PSO – Injeção Não Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SAT, SEP 10 2016 14:52																
IEEE 14 BUS																
X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA	
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	
1	BUS1	220.00	1	0.0	84.8	0.0										
							2	BUS2	220.00	1	1	55.6	30.9	180.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	29.2	36.5	80.0		
2	BUS2	220.00	1	-1.9	50.0	21.7										
							1	BUS1	220.00	1	1	-55.6	30.9	180.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	38.1	47.7	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	27.3	34.1	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	18.5	23.1	80.0		
3	BUS3	220.00	1	-6.2	40.0	94.2										
							2	BUS2	220.00	1	1	-38.1	47.7	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	-16.1	20.1	80.0		
4	BUS4	220.00	1	-4.6	0.0	47.8										
							2	BUS2	220.00	1	1	-27.3	34.1	80.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	16.1	20.1	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	-37.7	47.1	80.0		
							7	BUS7	60.000	1	2	0.7	0.7	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	2	0.4	0.4	100.0		
5	BUS5	220.00	1	-3.7	0.0	7.6										
							1	BUS1	220.00	1	1	-29.2	36.5	80.0		
							2	BUS2	220.00	1	1	-18.5	23.1	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	37.7	47.1	80.0		
							6	BUS6	150.00	1	2	2.4	5.2	46.0		
6	BUS6	150.00	1	-4.1	30.0	11.2										
							5	BUS5	220.00	1	2	-2.4	5.2	46.0		
							11	BUS11	150.00	1	1	-3.5	7.1	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	7.6	15.2	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	17.2	34.3	50.0		
7	BUS7	60.000	1	-4.7	0.0	0.0										
							4	BUS4	220.00	1	2	-0.7	0.7	100.0		
							8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	1	0.7	0.7	100.0		
8	BUS8	15.000	1	-4.7	0.0	0.0										
							7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
9	BUS9	150.00	1	-4.8	0.0	29.5										
							4	BUS4	220.00	1	2	-0.4	0.4	100.0		
							7	BUS7	60.000	1	1	-0.7	0.7	100.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	-38.5	99.9	38.5		
							14	BUS14	150.00	1	1	10.1	20.1	50.0		
10	BUS10	150.00	1	-2.9	54.5	9.0										
							9	BUS9	150.00	1	1	38.5	99.9	38.5		
							11	BUS11	150.00	1	1	7.0	14.1	50.0		
11	BUS11	150.00	1	-3.7	0.0	3.5										
							6	BUS6	150.00	1	1	3.5	7.1	50.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	-7.0	14.1	50.0		
12	BUS12	150.00	1	-5.2	0.0	6.1										
							6	BUS6	150.00	1	1	-7.6	15.2	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	1.5	3.0	50.0		
13	BUS13	150.00	1	-5.4	0.0	13.8										
							6	BUS6	150.00	1	1	-17.2	34.3	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	-1.5	3.0	50.0		
							14	BUS14	150.00	1	1	4.8	9.7	50.0		
14	BUS14	150.00	1	-6.3	0.0	14.9										
							9	BUS9	150.00	1	1	-10.1	20.1	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	-4.8	9.7	50.0		

Anexo 13 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 2 – Simulações

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 2

Matriz Geracao Inicial

[[119.3 50. 40. 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz GBest Inicial

[[30.3 98. 88. 0. 0. 9. 0. 0. 0. 34. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz PBest Final

[[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

Matriz GBest Final

[[-0. 259.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]]

Rate das Linhas - Ordenado

Br to Br Rate Valor %
[[2. 3. 80. 76.1 95.1]
[5. 6. 46. 41.3 89.7]
[2. 4. 80. 67.9 84.8]
[2. 5. 80. 58. 72.4]
[4. 5. 80. 44.8 56.]

[1. 5. 80. 35.7 44.6]
[6. 13. 50. 16.9 33.8]
[4. 7. 100. 29.7 29.7]
[7. 9. 100. 29.7 29.7]
[3. 4. 80. 18.1 22.6]

[9. 14. 50. 10.4 20.8]
[1. 2. 180. 35.7 19.8]
[9. 10. 38.5 6.8 17.8]
[4. 9. 100. 17. 17.]
[6. 12. 50. 7.5 15.]

[6. 11. 50. 5.7 11.3]
[13. 14. 50. 4.5 9.]
[10. 11. 50. 2.2 4.3]
[12. 13. 50. 1.4 2.8]
[7. 8. 100. 0. 0.]]

Matriz Evolucao do Fitness

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 340

Iter Fitness

[1. 128.4] [33. 259.1] [65. 259.1] [97. 259.1] [129. 259.1] [161. 259.1] [193. 259.1] [225. 259.1] [257. 259.2] [289. 259.2]
[2. 161.6] [34. 259.1] [66. 259.1] [98. 259.1] [130. 259.1] [162. 259.1] [194. 259.1] [226. 259.1] [258. 259.2] [290. 259.2]
[3. 238.8] [35. 259.1] [67. 259.1] [99. 259.1] [131. 259.1] [163. 259.1] [195. 259.1] [227. 259.1] [259. 259.2] [291. 259.2]
[4. 238.8] [36. 259.1] [68. 259.1] [100. 259.1] [132. 259.1] [164. 259.1] [196. 259.1] [228. 259.1] [260. 259.2] [292. 259.2]
[5. 238.8] [37. 259.1] [69. 259.1] [101. 259.1] [133. 259.1] [165. 259.1] [197. 259.1] [229. 259.1] [261. 259.2] [293. 259.2]
[6. 256.6] [38. 259.1] [70. 259.1] [102. 259.1] [134. 259.1] [166. 259.1] [198. 259.1] [230. 259.1] [262. 259.2] [294. 259.2]
[7. 256.6] [39. 259.1] [71. 259.1] [103. 259.1] [135. 259.1] [167. 259.1] [199. 259.1] [231. 259.1] [263. 259.2] [295. 259.2]
[8. 256.6] [40. 259.1] [72. 259.1] [104. 259.1] [136. 259.1] [168. 259.1] [200. 259.1] [232. 259.1] [264. 259.2] [296. 259.2]
[9. 256.6] [41. 259.1] [73. 259.1] [105. 259.1] [137. 259.1] [169. 259.1] [201. 259.1] [233. 259.1] [265. 259.2] [297. 259.2]
[10. 256.6] [42. 259.1] [74. 259.1] [106. 259.1] [138. 259.1] [170. 259.1] [202. 259.1] [234. 259.1] [266. 259.2] [298. 259.2]
[11. 256.6] [43. 259.1] [75. 259.1] [107. 259.1] [139. 259.1] [171. 259.1] [203. 259.1] [235. 259.1] [267. 259.2] [299. 259.2]
[12. 256.6] [44. 259.1] [76. 259.1] [108. 259.1] [140. 259.1] [172. 259.1] [204. 259.1] [236. 259.1] [268. 259.2] [300. 259.2]
[13. 259.1] [45. 259.1] [77. 259.1] [109. 259.1] [141. 259.1] [173. 259.1] [205. 259.1] [237. 259.1] [269. 259.2] [301. 259.2]
[14. 259.1] [46. 259.1] [78. 259.1] [110. 259.1] [142. 259.1] [174. 259.1] [206. 259.1] [238. 259.1] [270. 259.2] [302. 259.2]
[15. 259.1] [47. 259.1] [79. 259.1] [111. 259.1] [143. 259.1] [175. 259.1] [207. 259.1] [239. 259.1] [271. 259.2] [303. 259.2]
[16. 259.1] [48. 259.1] [80. 259.1] [112. 259.1] [144. 259.1] [176. 259.1] [208. 259.1] [240. 259.1] [272. 259.2] [304. 259.2]
[17. 259.1] [49. 259.1] [81. 259.1] [113. 259.1] [145. 259.1] [177. 259.1] [209. 259.1] [241. 259.1] [273. 259.2] [305. 259.2]
[18. 259.1] [50. 259.1] [82. 259.1] [114. 259.1] [146. 259.1] [178. 259.1] [210. 259.1] [242. 259.1] [274. 259.2] [306. 259.2]
[19. 259.1] [51. 259.1] [83. 259.1] [115. 259.1] [147. 259.1] [179. 259.1] [211. 259.1] [243. 259.1] [275. 259.2] [307. 259.2]
[20. 259.1] [52. 259.1] [84. 259.1] [116. 259.1] [148. 259.1] [180. 259.1] [212. 259.1] [244. 259.1] [276. 259.2] [308. 259.2]
[21. 259.1] [53. 259.1] [85. 259.1] [117. 259.1] [149. 259.1] [181. 259.1] [213. 259.1] [245. 259.1] [277. 259.2] [309. 259.2]
[22. 259.1] [54. 259.1] [86. 259.1] [118. 259.1] [150. 259.1] [182. 259.1] [214. 259.1] [246. 259.1] [278. 259.2] [310. 259.2]
[23. 259.1] [55. 259.1] [87. 259.1] [119. 259.1] [151. 259.1] [183. 259.1] [215. 259.1] [247. 259.1] [279. 259.2] [311. 259.2]
[24. 259.1] [56. 259.1] [88. 259.1] [120. 259.1] [152. 259.1] [184. 259.1] [216. 259.1] [248. 259.1] [280. 259.2] [312. 259.2]
[25. 259.1] [57. 259.1] [89. 259.1] [121. 259.1] [153. 259.1] [185. 259.1] [217. 259.1] [249. 259.2] [281. 259.2] [313. 259.2]
[26. 259.1] [58. 259.1] [90. 259.1] [122. 259.1] [154. 259.1] [186. 259.1] [218. 259.1] [250. 259.2] [282. 259.2] [314. 259.2]
[27. 259.1] [59. 259.1] [91. 259.1] [123. 259.1] [155. 259.1] [187. 259.1] [219. 259.1] [251. 259.2] [283. 259.2] [315. 259.2]
[28. 259.1] [60. 259.1] [92. 259.1] [124. 259.1] [156. 259.1] [188. 259.1] [220. 259.1] [252. 259.2] [284. 259.2] [316. 259.2]
[29. 259.1] [61. 259.1] [93. 259.1] [125. 259.1] [157. 259.1] [189. 259.1] [221. 259.1] [253. 259.2] [285. 259.2] [317. 259.2]
[30. 259.1] [62. 259.1] [94. 259.1] [126. 259.1] [158. 259.1] [190. 259.1] [222. 259.1] [254. 259.2] [286. 259.2] [318. 259.2]
[31. 259.1] [63. 259.1] [95. 259.1] [127. 259.1] [159. 259.1] [191. 259.1] [223. 259.1] [255. 259.2] [287. 259.2] [319. 259.2]
[32. 259.1] [64. 259.1] [96. 259.1] [128. 259.1] [160. 259.1] [192. 259.1] [224. 259.1] [256. 259.2] [288. 259.2] [320. 259.2]

Anexo 14 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea – Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SAT, SEP 10 2016 16:49																
IEEE 14 BUS																
X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA	
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	MW	%	MVA	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0	0.0	0.0										
							2	BUS2	220.00	1	1	-35.7	19.8	180.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	35.7	44.6	80.0		
2	BUS2	220.00	1	1.2	259.3	21.7										
							1	BUS1	220.00	1	1	35.7	19.8	180.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	76.1	95.1	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	67.9	84.8	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	58.0	72.4	80.0		
3	BUS3	220.00	1	-7.4	0.0	94.2										
							2	BUS2	220.00	1	1	-76.1	95.1	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	-18.1	22.6	80.0		
4	BUS4	220.00	1	-5.6	0.0	47.8										
							2	BUS2	220.00	1	1	-67.9	84.8	80.0		
							3	BUS3	220.00	1	1	18.1	22.6	80.0		
							5	BUS5	220.00	1	1	-44.8	56.0	80.0		
							7	BUS7	60.000	1	2	29.7	29.7	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	2	17.0	17.0	100.0		
5	BUS5	220.00	1	-4.6	0.0	7.6										
							1	BUS1	220.00	1	1	-35.7	44.6	80.0		
							2	BUS2	220.00	1	1	-58.0	72.4	80.0		
							4	BUS4	220.00	1	1	44.8	56.0	80.0		
							6	BUS6	150.00	1	2	41.3	89.7	46.0		
6	BUS6	150.00	1	-10.5	0.0	11.2										
							5	BUS5	220.00	1	2	-41.3	89.7	46.0		
							11	BUS11	150.00	1	1	5.7	11.3	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	7.5	15.0	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	16.9	33.8	50.0		
7	BUS7	60.000	1	-9.2	0.0	0.0										
							4	BUS4	220.00	1	2	-29.7	29.7	100.0		
							8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
							9	BUS9	150.00	1	1	29.7	29.7	100.0		
8	BUS8	15.000	1	-9.2	0.0	0.0										
							7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0		
9	BUS9	150.00	1	-11.1	0.0	29.5										
							4	BUS4	220.00	1	2	-17.0	17.0	100.0		
							7	BUS7	60.000	1	1	-29.7	29.7	100.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	6.8	17.8	38.5		
							14	BUS14	150.00	1	1	10.4	20.8	50.0		
10	BUS10	150.00	1	-11.4	0.0	9.0										
							9	BUS9	150.00	1	1	-6.8	17.8	38.5		
							11	BUS11	150.00	1	1	-2.2	4.3	50.0		
11	BUS11	150.00	1	-11.2	0.0	3.5										
							6	BUS6	150.00	1	1	-5.7	11.3	50.0		
							10	BUS10	150.00	1	1	2.2	4.3	50.0		
12	BUS12	150.00	1	-11.6	0.0	6.1										
							6	BUS6	150.00	1	1	-7.5	15.0	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	1.4	2.8	50.0		
13	BUS13	150.00	1	-11.8	0.0	13.8										
							6	BUS6	150.00	1	1	-16.9	33.8	50.0		
							12	BUS12	150.00	1	1	-1.4	2.8	50.0		
							14	BUS14	150.00	1	1	4.5	9.0	50.0		
14	BUS14	150.00	1	-12.7	0.0	14.9										
							9	BUS9	150.00	1	1	-10.4	20.8	50.0		
							13	BUS13	150.00	1	1	-4.5	9.0	50.0		

[illegible]

CICLO DE SIMULACOES : 50

Solucoes das 50 Simulacoes

154

Anexo 16 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SUN, SEP 11 2016 14:00
IEEE 14 BUS

X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0	0.1	0.0									
							2	BUS2	220.00	1	1	-9.3	5.2	180.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	9.4	11.7	80.0	
2	BUS2	220.00	1	0.3	0.0	21.7									
							1	BUS1	220.00	1	1	9.3	5.2	180.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-58.3	72.9	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	12.1	15.2	80.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	15.2	19.0	80.0	
3	BUS3	220.00	1	6.9	232.5	94.2									
							2	BUS2	220.00	1	1	58.3	72.9	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	80.0	100.0	80.0	
4	BUS4	220.00	1	-0.9	0.0	47.8									
							2	BUS2	220.00	1	1	-12.1	15.2	80.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-80.0	100.0	80.0	
							5	BUS5	220.00	1	1	11.9	14.9	80.0	
							7	BUS7	60.000	1	2	20.6	20.6	100.0	
							9	BUS9	150.00	1	2	11.8	11.8	100.0	
5	BUS5	220.00	1	-1.2	0.0	7.6									
							1	BUS1	220.00	1	1	-9.4	11.7	80.0	
							2	BUS2	220.00	1	1	-15.2	19.0	80.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	-11.9	14.9	80.0	
							6	BUS6	150.00	1	2	28.9	62.8	46.0	
6	BUS6	150.00	1	-5.4	0.0	11.2									
							5	BUS5	220.00	1	2	-28.9	62.8	46.0	
							11	BUS11	150.00	1	1	-3.7	7.3	50.0	
							12	BUS12	150.00	1	1	6.8	13.7	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	14.5	29.1	50.0	
7	BUS7	60.000	1	-3.4	0.0	0.0									
							4	BUS4	220.00	1	2	-20.6	20.6	100.0	
							8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0	
							9	BUS9	150.00	1	1	20.6	20.6	100.0	
8	BUS8	15.000	1	-3.4	0.0	0.0									
							7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0	
9	BUS9	150.00	1	-4.7	0.0	29.5									
							4	BUS4	220.00	1	2	-11.8	11.8	100.0	
							7	BUS7	60.000	1	1	-20.6	20.6	100.0	
							10	BUS10	150.00	1	1	-10.5	27.3	38.5	
							14	BUS14	150.00	1	1	13.4	26.8	50.0	
10	BUS10	150.00	1	-4.2	26.7	9.0									
							9	BUS9	150.00	1	1	10.5	27.3	38.5	
							11	BUS11	150.00	1	1	7.2	14.3	50.0	
11	BUS11	150.00	1	-5.0	0.0	3.5									
							6	BUS6	150.00	1	1	3.7	7.3	50.0	
							10	BUS10	150.00	1	1	-7.2	14.3	50.0	
12	BUS12	150.00	1	-6.4	0.0	6.1									
							6	BUS6	150.00	1	1	-6.8	13.7	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	0.7	1.5	50.0	
13	BUS13	150.00	1	-6.5	0.0	13.8									
							6	BUS6	150.00	1	1	-14.5	29.1	50.0	
							12	BUS12	150.00	1	1	-0.7	1.5	50.0	
							14	BUS14	150.00	1	1	1.5	3.0	50.0	
14	BUS14	150.00	1	-6.8	0.0	14.9									
							9	BUS9	150.00	1	1	-13.4	26.8	50.0	
							13	BUS13	150.00	1	1	-1.5	3.0	50.0	

Anexo 17 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 6 – Simulações

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 6

Matriz Geracao Inicial

[[119.3 50. 40. 0. 0. 30. 0. 0. 0. 20. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz GBest Inicial

[[10.3 102. 12. 0. 0. 114. 0. 0. 0. 21. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz PBest Final

[[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

Matriz GBest Final

[[125. 0. 0. 0. 0. 134.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]]

Rate das Linhas - Ordenado

Br	to	Br	Rate	Valor	%
5.	6.	46.	46.	99.9	
4.	5.	80.	69.3	86.6	
6.	11.	50.	34.0	68.0	
2.	3.	80.	52.9	66.2	
6.	13.	50.	31.5	62.9	

10.	11.	50.	30.5	61.0
9.	10.	38.5	21.5	55.8
1.	2.	180.	97.	53.9
3.	4.	80.	41.3	51.6
13.	14.	50.	23.2	46.5

1.	5.	80.	28.0	35.0
2.	4.	80.	19.4	24.3
6.	12.	50.	11.7	23.3
9.	14.	50.	8.3	16.7
12.	13.	50.	5.6	11.1

2.	5.	80.	2.9	3.6
4.	7.	100.	0.2	0.2
7.	9.	100.	0.2	0.2
4.	9.	100.	0.1	0.1
7.	8.	100.	0.	0.

Matriz Evolucao do Fitness

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 27

Iter	Fitness
[1. 123.]	[32. 134.3]
[2. 133.3]	[33. 134.3]
[3. 133.3]	[34. 134.3]
[4. 133.3]	[35. 134.3]
[5. 133.3]	[36. 134.3]
[6. 133.3]	[37. 134.3]
[7. 133.3]	[38. 134.3]
[8. 133.3]	[39. 134.3]
[9. 133.3]	[40. 134.3]
[10. 133.3]	[41. 134.3]
[11. 133.3]	[42. 134.3]
[12. 133.3]	[43. 134.3]
[13. 133.3]	[44. 134.3]
[14. 133.3]	[45. 134.3]
[15. 133.3]	[46. 134.3]
[16. 133.3]	[47. 134.3]
[17. 133.3]	[48. 134.3]
[18. 133.3]	[49. 134.3]
[19. 133.3]	[50. 134.3]
[20. 133.3]	[51. 134.3]
[21. 133.3]	[52. 134.3]
[22. 133.3]	[53. 134.3]
[23. 133.3]	[54. 134.3]
[24. 133.3]	[55. 134.3]
[25. 133.3]	[56. 134.3]
[26. 133.3]	[57. 134.3]
[27. 134.3]	[58. 134.3]
[28. 134.3]	[59. 134.3]
[29. 134.3]	[60. 134.3]
[30. 134.3]	[61. 134.3]
[31. 134.3]	[62. 134.3]

CICLO DE SIMULACOES : 50

Solucoes das 50 Simulacoes

157

Anexo 18 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 6 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SUN, SEP 11 2016 1:57

IEEE 14 BUS

X-----		FROM BUS		-----X		BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS		-----X		BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA		
BUS#-SCT	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1		BUS1		220.00	1	0.0		125.0	0.0													
										2		BUS2		220.00	1	1	97.0	53.9	180.0			
										5		BUS5		220.00	1	1	28.0	35.0	80.0			
2		BUS2		220.00	1	-3.3		0.0	21.7													
										1		BUS1		220.00	1	1	-97.0	53.9	180.0			
										3		BUS3		220.00	1	1	52.9	66.2	80.0			
										4		BUS4		220.00	1	1	19.4	24.3	80.0			
										5		BUS5		220.00	1	1	2.9	3.6	80.0			
3		BUS3		220.00	1	-9.3		0.0	94.2													
										2		BUS2		220.00	1	1	-52.9	66.2	80.0			
										4		BUS4		220.00	1	1	-41.3	51.6	80.0			
4		BUS4		220.00	1	-5.3		0.0	47.8													
										2		BUS2		220.00	1	1	-19.4	24.3	80.0			
										3		BUS3		220.00	1	1	41.3	51.6	80.0			
										5		BUS5		220.00	1	1	-69.3	86.6	80.0			
										7		BUS7		60.000	1	2	-0.2	0.2	100.0			
										9		BUS9		150.00	1	2	-0.1	0.1	100.0			
5		BUS5		220.00	1	-3.6		0.0	7.6													
										1		BUS1		220.00	1	1	-28.0	35.0	80.0			
										2		BUS2		220.00	1	1	-2.9	3.6	80.0			
										4		BUS4		220.00	1	1	69.3	86.6	80.0			
										6		BUS6		150.00	1	2	-46.0	99.9	46.0			
6		BUS6		150.00	1	3.1		134.3	11.2													
										5		BUS5		220.00	1	2	46.0	99.9	46.0			
										11		BUS11		150.00	1	1	34.0	68.0	50.0			
										12		BUS12		150.00	1	1	11.7	23.3	50.0			
										13		BUS13		150.00	1	1	31.5	62.9	50.0			
7		BUS7		60.000	1	-5.2		0.0	0.0													
										4		BUS4		220.00	1	2	0.2	0.2	100.0			
										8		BUS8		15.000	1	2	0.0	0.0	100.0			
										9		BUS9		150.00	1	1	-0.2	0.2	100.0			
8		BUS8		15.000	1	-5.2		0.0	0.0													
										7		BUS7		60.000	1	2	0.0	0.0	100.0			
9		BUS9		150.00	1	-5.2		0.0	29.5													
										4		BUS4		220.00	1	2	0.1	0.1	100.0			
										7		BUS7		60.000	1	1	0.2	0.2	100.0			
										10		BUS10		150.00	1	1	-21.5	55.8	38.5			
										14		BUS14		150.00	1	1	-8.3	16.7	50.0			
10		BUS10		150.00	1	-4.2		0.0	9.0													
										9		BUS9		150.00	1	1	21.5	55.8	38.5			
										11		BUS11		150.00	1	1	-30.5	61.0	50.0			
11		BUS11		150.00	1	-0.8		0.0	3.5													
										6		BUS6		150.00	1	1	-34.0	68.0	50.0			
										10		BUS10		150.00	1	1	30.5	61.0	50.0			
12		BUS12		150.00	1	1.3		0.0	6.1													
										6		BUS6		150.00	1	1	-11.7	23.3	50.0			
										13		BUS13		150.00	1	1	5.6	11.1	50.0			
13		BUS13		150.00	1	0.7		0.0	13.8													
										6		BUS6		150.00	1	1	-31.5	62.9	50.0			
										12		BUS12		150.00	1	1	-5.6	11.1	50.0			
										14		BUS14		150.00	1	1	23.2	46.5	50.0			
14		BUS14		150.00	1	-3.9		0.0	14.9													
										9		BUS9		150.00	1	1	8.3	16.7	50.0			
										13		BUS13		150.00	1	1	-23.2	46.5	50.0			

CENARIO
 Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : PSO Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 10

```
[[ 0.1  0. 232.5  0.  0.  0.  0.  0.  0. 26.7  0.  0.  0.  0.]]
```

```
[[ 72.3  48.   78.   0.   0.  12.   0.   0.   0.  49.   0.   0.   0.   0. ]]
```

[	0.5	0.	193.6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	0.9	0.	193.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.9	0.	191.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.9	0.	191.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	10.1	0.	184.1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.1	0.	0.	0.	0.]
[	2.8	0.	191.3	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.2	0.	191.9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	1.7	0.	192.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.9	0.	191.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.6	0.	191.5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]

[	1.2	0.	192.9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	0.8	0.	193.3	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.3	0.	191.8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	0.7	0.	193.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.7	0.	191.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.4	0.	191.7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	0.9	0.	193.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.7	0.	191.4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	1.9	0.	192.2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]
[	2.5	0.	191.6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	65.2	0.	0.	0.	0.]]

```
[[ 2.9  0. 191.2  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  65.2  0.  0.  0.  0.]]
```

	Ln to Ln	Rate	Valor	%
[[	9.	10.	38.5	38.5
[	3.	4.	80.	55.5
[	2.	3.	80.	41.5
[	10.	11.	50.	17.7
[	5.	6.	46.	16.

[	9.	14.	50.	15.9	31.7]
[	6.	11.	50.	14.2	28.4]
[	6.	13.	50.	12.7	25.3]
[	6.	12.	50.	6.3	12.6]
[	2.	5.	80.	9.2	11.5]

```
[ 4.    5.    80.    8.    10. ]
[ 2.    4.    80.    7.2   9. ]
[ 1.    5.    80.    6.3   7.9]
[ 4.    7.   100.    4.4   4.4]
[ 7.    9.   100.    4.4   4.4]
```

```
[ 4.    9.   100.    2.5    2.5]
[ 1.    2.   180.    3.4    1.9]
[ 13.   14.    50.     1.     1.9]
[ 12.   13.    50.    0.2    0.4]
[ 7.    8.   100.     0.     0. ]
```

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 390

Iter	Fitness																		
[1.	[56.6]	[31.	[63.7]	[61.	[63.7]	[91.	[63.7]	[121.	[63.7]	[151.	[63.7]	[181.	[63.7]	[211.	[63.8]	[241.	[64.2]	[271.	[64.2]
[2.	[61.]	[32.	[63.7]	[62.	[63.7]	[92.	[63.7]	[122.	[63.7]	[152.	[63.7]	[182.	[63.7]	[212.	[63.8]	[242.	[64.2]	[272.	[64.2]
[3.	[61.]	[33.	[63.7]	[63.	[63.7]	[93.	[63.7]	[123.	[63.7]	[153.	[63.7]	[183.	[63.7]	[213.	[63.8]	[243.	[64.2]	[273.	[64.2]
[4.	[61.]	[34.	[63.7]	[64.	[63.7]	[94.	[63.7]	[124.	[63.7]	[154.	[63.7]	[184.	[63.7]	[214.	[63.8]	[244.	[64.2]	[274.	[64.2]
[5.	[61.]	[35.	[63.7]	[65.	[63.7]	[95.	[63.7]	[125.	[63.7]	[155.	[63.7]	[185.	[63.7]	[215.	[63.8]	[245.	[64.2]	[275.	[64.2]
[6.	[61.]	[36.	[63.7]	[66.	[63.7]	[96.	[63.7]	[126.	[63.7]	[156.	[63.7]	[186.	[63.7]	[216.	[63.8]	[246.	[64.2]	[276.	[64.2]
[7.	[63.7]	[37.	[63.7]	[67.	[63.7]	[97.	[63.7]	[127.	[63.7]	[157.	[63.7]	[187.	[63.7]	[217.	[63.8]	[247.	[64.2]	[277.	[64.2]
[8.	[63.7]	[38.	[63.7]	[68.	[63.7]	[98.	[63.7]	[128.	[63.7]	[158.	[63.7]	[188.	[63.7]	[218.	[63.8]	[248.	[64.2]	[278.	[64.2]
[9.	[63.7]	[39.	[63.7]	[69.	[63.7]	[99.	[63.7]	[129.	[63.7]	[159.	[63.7]	[189.	[63.7]	[219.	[63.8]	[249.	[64.2]	[279.	[65.]
[10.	[63.7]	[40.	[63.7]	[70.	[63.7]	[100.	[63.7]	[130.	[63.7]	[160.	[63.7]	[190.	[63.7]	[220.	[63.8]	[250.	[64.2]	[280.	[65.]
[11.	[63.7]	[41.	[63.7]	[71.	[63.7]	[101.	[63.7]	[131.	[63.7]	[161.	[63.7]	[191.	[63.7]	[221.	[63.8]	[251.	[64.2]	[281.	[65.]
[12.	[63.7]	[42.	[63.7]	[72.	[63.7]	[102.	[63.7]	[132.	[63.7]	[162.	[63.7]	[192.	[63.7]	[222.	[63.8]	[252.	[64.2]	[282.	[65.]
[13.	[63.7]	[43.	[63.7]	[73.	[63.7]	[103.	[63.7]	[133.	[63.7]	[163.	[63.7]	[193.	[63.7]	[223.	[63.8]	[253.	[64.2]	[283.	[65.]
[14.	[63.7]	[44.	[63.7]	[74.	[63.7]	[104.	[63.7]	[134.	[63.7]	[164.	[63.7]	[194.	[63.7]	[224.	[63.8]	[254.	[64.2]	[284.	[65.]
[15.	[63.7]	[45.	[63.7]	[75.	[63.7]	[105.	[63.7]	[135.	[63.7]	[165.	[63.7]	[195.	[63.7]	[225.	[63.8]	[255.	[64.2]	[285.	[65.]
[16.	[63.7]	[46.	[63.7]	[76.	[63.7]	[106.	[63.7]	[136.	[63.7]	[166.	[63.7]	[196.	[63.7]	[226.	[63.8]	[256.	[64.2]	[286.	[65.]
[17.	[63.7]	[47.	[63.7]	[77.	[63.7]	[107.	[63.7]	[137.	[63.7]	[167.	[63.7]	[197.	[63.8]	[227.	[63.8]	[257.	[64.2]	[287.	[65.]
[18.	[63.7]	[48.	[63.7]	[78.	[63.7]	[108.	[63.7]	[138.	[63.7]	[168.	[63.7]	[198.	[63.8]	[228.	[63.8]	[258.	[64.2]	[288.	[65.]
[19.	[63.7]	[49.	[63.7]	[79.	[63.7]	[109.	[63.7]	[139.	[63.7]	[169.	[63.7]	[199.	[63.8]	[229.	[63.8]	[259.	[64.2]	[289.	[65.]
[20.	[63.7]	[50.	[63.7]	[80.	[63.7]	[110.	[63.7]	[140.	[63.7]	[170.	[63.7]	[200.	[63.8]	[230.	[63.8]	[260.	[64.2]	[290.	[65.]
[21.	[63.7]	[51.	[63.7]	[81.	[63.7]	[111.	[63.7]	[141.	[63.7]	[171.	[63.7]	[201.	[63.8]	[231.	[63.8]	[261.	[64.2]	[291.	[65.]
[22.	[63.7]	[52.	[63.7]	[82.	[63.7]	[112.	[63.7]	[142.	[63.7]	[17									

[301. 65.]	[321. 65.1]	[341. 65.1]	[361. 65.1]	[381. 65.1]	[401. 65.2]	[421. 65.2]	[441. 65.2]	[461. 65.2]	[481. 65.2]
[302. 65.]	[322. 65.1]	[342. 65.1]	[362. 65.1]	[382. 65.1]	[402. 65.2]	[422. 65.2]	[442. 65.2]	[462. 65.2]	[482. 65.2]
[303. 65.]	[323. 65.1]	[343. 65.1]	[363. 65.1]	[383. 65.1]	[403. 65.2]	[423. 65.2]	[443. 65.2]	[463. 65.2]	[483. 65.2]
[304. 65.]	[324. 65.1]	[344. 65.1]	[364. 65.1]	[384. 65.1]	[404. 65.2]	[424. 65.2]	[444. 65.2]	[464. 65.2]	[484. 65.2]
[305. 65.]	[325. 65.1]	[345. 65.1]	[365. 65.1]	[385. 65.1]	[405. 65.2]	[425. 65.2]	[445. 65.2]	[465. 65.2]	[485. 65.2]
[306. 65.]	[326. 65.1]	[346. 65.1]	[366. 65.1]	[386. 65.1]	[406. 65.2]	[426. 65.2]	[446. 65.2]	[466. 65.2]	[486. 65.2]
[307. 65.]	[327. 65.1]	[347. 65.1]	[367. 65.1]	[387. 65.1]	[407. 65.2]	[427. 65.2]	[447. 65.2]	[467. 65.2]	[487. 65.2]
[308. 65.]	[328. 65.1]	[348. 65.1]	[368. 65.1]	[388. 65.1]	[408. 65.2]	[428. 65.2]	[448. 65.2]	[468. 65.2]	[488. 65.2]
[309. 65.]	[329. 65.1]	[349. 65.1]	[369. 65.1]	[389. 65.1]	[409. 65.2]	[429. 65.2]	[449. 65.2]	[469. 65.2]	[489. 65.2]
[310. 65.]	[330. 65.1]	[350. 65.1]	[370. 65.1]	[390. 65.1]	[410. 65.2]	[430. 65.2]	[450. 65.2]	[470. 65.2]	[490. 65.2]
[311. 65.]	[331. 65.1]	[351. 65.1]	[371. 65.1]	[391. 65.2]	[411. 65.2]	[431. 65.2]	[451. 65.2]	[471. 65.2]	[491. 65.2]
[312. 65.]	[332. 65.1]	[352. 65.1]	[372. 65.1]	[392. 65.2]	[412. 65.2]	[432. 65.2]	[452. 65.2]	[472. 65.2]	[492. 65.2]
[313. 65.]	[333. 65.1]	[353. 65.1]	[373. 65.1]	[393. 65.2]	[413. 65.2]	[433. 65.2]	[453. 65.2]	[473. 65.2]	[493. 65.2]
[314. 65.]	[334. 65.1]	[354. 65.1]	[374. 65.1]	[394. 65.2]	[414. 65.2]	[434. 65.2]	[454. 65.2]	[474. 65.2]	[494. 65.2]
[315. 65.]	[335. 65.1]	[355. 65.1]	[375. 65.1]	[395. 65.2]	[415. 65.2]	[435. 65.2]	[455. 65.2]	[475. 65.2]	[495. 65.2]
[316. 65.]	[336. 65.1]	[356. 65.1]	[376. 65.1]	[396. 65.2]	[416. 65.2]	[436. 65.2]	[456. 65.2]	[476. 65.2]	[496. 65.2]
[317. 65.1]	[337. 65.1]	[357. 65.1]	[377. 65.1]	[397. 65.2]	[417. 65.2]	[437. 65.2]	[457. 65.2]	[477. 65.2]	[497. 65.2]
[318. 65.1]	[338. 65.1]	[358. 65.1]	[378. 65.1]	[398. 65.2]	[418. 65.2]	[438. 65.2]	[458. 65.2]	[478. 65.2]	[498. 65.2]
[319. 65.1]	[339. 65.1]	[359. 65.1]	[379. 65.1]	[399. 65.2]	[419. 65.2]	[439. 65.2]	[459. 65.2]	[479. 65.2]	[499. 65.2]
[320. 65.1]	[340. 65.1]	[360. 65.1]	[380. 65.1]	[400. 65.2]	[420. 65.2]	[440. 65.2]	[460. 65.2]	[480. 65.2]	[500. 65.2]]

CICLO DE SIMULACOES : 50

Sim	Inj	Ln	to	Ln	%	iter	fitness																							
[1.	62.4	9.	10.	100.	106.	62.3]		[14.	65.2	9.	10.	100.	329.	65.2]		[27.	62.3	9.	10.	99.8	49.	62.3]		[40.	65.2	9.	10.	100.	356.	65.2]
[2.	65.2	9.	10.	100.	355.	65.2]		[15.	65.2	9.	10.	99.9	325.	65.2]		[28.	63.1	9.	10.	100.	425.	63.1]		[41.	62.3	9.	10.	99.8	226.	62.3]
[3.	65.2	9.	10.	100.	342.	65.2]		[16.	62.4	9.	10.	100.	83.	62.3]		[29.	62.4	9.	10.	100.	72.	62.3]		[42.	65.2	9.	10.	100.	447.	65.2]
[4.	62.3	9.	10.	99.8	9.	62.3]		[17.	62.5	9.	10.	100.	447.	62.5]		[30.	62.4	9.	10.	100.	7.	62.3]		[43.	62.3	9.	10.	99.8	68.	62.3]
[5.	65.2	9.	10.	100.	406.	65.2]		[18.	65.2	9.	10.	99.9	428.	65.2]		[31.	63.1	9.	10.	100.	396.	63.1]		[44.	65.2	9.	10.	100.	375.	65.2]
[6.	62.4	9.	10.	100.	450.	62.4]		[19.	63.1	9.	10.	100.	374.	63.1]		[32.	65.2	9.	10.	99.9	351.	65.2]		[45.	62.4	9.	10.	100.	177.	62.3]
[7.	65.2	9.	10.	100.	382.	65.2]		[20.	63.1	9.	10.	100.	399.	63.1]		[33.	62.3	9.	10.	99.8	44.	62.3]		[46.	65.2	9.	10.	99.9	424.	65.2]
[8.	62.4	9.	10.	100.	46.	62.3]		[21.	62.3	9.	10.	99.8	78.	62.3]		[34.	63.1	9.	10.	100.	402.	63.1]		[47.	65.2	9.	10.	99.9	338.	65.2]
[9.	65.2	9.	10.	100.	393.	65.2]		[22.	65.2	9.	10.	100.	405.	65.2]		[35.	65.2	9.	10.	100.	330.	65.2]		[48.	62.3	9.	10.	99.8	20.	62.3]
[10.	65.2	9.	10.	100.	416.	65.2]		[23.	63.1	9.	10.	100.	393.	63.1]		[36.	62.4	9.	10.	100.	54.	62.3]		[49.	65.2	9.	10.	100.	287.	65.2]
[11.	62.3	9.	10.	99.8	18.	62.3]		[24.	65.2	9.	10.	100.	397.	65.2]		[37.	65.2	9.	10.	100.	341.	65.2]		[50.	65.2	9.	10.	100.	430.	65.2]]
[12.	65.2	9.	10.	100.	371.	65.2]		[25.	62.5	9.	10.	100.	435.	62.5]		[38.	62.3	9.	10.	99.8	11.	62.3]								
[13.	63.1	9.	10.	99.9	343.	63.1]		[26.	63.1	9.	10.	100.	411.	63.1]		[39.	65.2	9.	10.	100.	375.	65.2]								

Melhores Solucoes das 50 Simulacoes

[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]	[10.4 185.8 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]
[1.3 0. 192.8 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[2.3 0. 191.8 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[7.5 188.7 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]
[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]	[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]
[1.9 0. 192.2 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]
[194.9 2. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]	[11.3 184.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]
[2.4 0. 191.7 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[0.4 0. 193.7 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[2.1 0. 192. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[7.5 188.7 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]
[2.5 0. 191.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[2.7 0. 191.4 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]	[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]
[3.0 0. 191.1 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[2.6 0. 191.5 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[1.2 195. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[2.5 0. 191.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[2. 0. 192.1 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[0.1 0. 194. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[1.5 0. 192.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[168.5 28.3 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[2.2 0. 191.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[0.6 0. 193.5 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[3.6 192.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]	[1.6 0. 192.5 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[3.0 193.2 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]	[196.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.4 0. 0. 0. 0.]
[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]	[0.7 0. 193.4 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[2.6 0. 191.5 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[0.5 0. 193.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[5.6 190.6 0. 0. 0. 0. 0. 0. 63.1 0. 0. 0. 0.]	[197. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.3 0. 0. 0. 0.]
[3.0 0. 191.1 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[1.1 0. 193. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]
[168.9 27.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 62.5 0. 0. 0. 0.]	[2.9 0. 191.2 0. 0. 0. 0. 0. 0. 65.2 0. 0. 0. 0.]

Anexo 20 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E																	THU, SEP 15 2016 22:57		
IEEE 14 BUS																			
X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA				
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW	
1	BUS1	220.00	1	0.0		2.9	0.0												
								2	BUS2	220.00	1	1	-3.4	1.9	180.0				
								5	BUS5	220.00	1	1	6.3	7.9	80.0				
2	BUS2	220.00	1	0.1		0.0	21.7												
								1	BUS1	220.00	1	1	3.4	1.9	180.0				
								3	BUS3	220.00	1	1	-41.5	51.9	80.0				
								4	BUS4	220.00	1	1	7.2	9.0	80.0				
								5	BUS5	220.00	1	1	9.2	11.5	80.0				
3	BUS3	220.00	1	4.8		191.2	94.2												
								2	BUS2	220.00	1	1	41.5	51.9	80.0				
								4	BUS4	220.00	1	1	55.5	69.3	80.0				
4	BUS4	220.00	1	-0.6		0.0	47.8												
								2	BUS2	220.00	1	1	-7.2	9.0	80.0				
								3	BUS3	220.00	1	1	-55.5	69.3	80.0				
								5	BUS5	220.00	1	1	8.0	10.0	80.0				
								7	BUS7	60.000	1	2	4.4	4.4	100.0				
								9	BUS9	150.00	1	2	2.5	2.5	100.0				
5	BUS5	220.00	1	-0.8		0.0	7.6												
								1	BUS1	220.00	1	1	-6.3	7.9	80.0				
								2	BUS2	220.00	1	1	-9.2	11.5	80.0				
								4	BUS4	220.00	1	1	-8.0	10.0	80.0				
								6	BUS6	150.00	1	2	16.0	34.7	46.0				
6	BUS6	150.00	1	-3.1		0.0	11.2												
								5	BUS5	220.00	1	2	-16.0	34.7	46.0				
								11	BUS11	150.00	1	1	-14.2	28.4	50.0				
								12	BUS12	150.00	1	1	6.3	12.6	50.0				
								13	BUS13	150.00	1	1	12.7	25.3	50.0				
7	BUS7	60.000	1	-1.1		0.0	0.0												
								4	BUS4	220.00	1	2	-4.4	4.4	100.0				
								8	BUS8	15.000	1	2	0.0	0.0	100.0				
								9	BUS9	150.00	1	1	4.4	4.4	100.0				
8	BUS8	15.000	1	-1.1		0.0	0.0												
								7	BUS7	60.000	1	2	0.0	0.0	100.0				
9	BUS9	150.00	1	-1.4		0.0	29.5												
								4	BUS4	220.00	1	2	-2.5	2.5	100.0				
								7	BUS7	60.000	1	1	-4.4	4.4	100.0				
								10	BUS10	150.00	1	1	-38.5	100.0	38.5				
								14	BUS14	150.00	1	1	15.9	31.7	50.0				
10	BUS10	150.00	1	0.5		65.2	9.0												
								9	BUS9	150.00	1	1	38.5	100.0	38.5				
								11	BUS11	150.00	1	1	17.7	35.4	50.0				
11	BUS11	150.00	1	-1.5		0.0	3.5												
								6	BUS6	150.00	1	1	14.2	28.4	50.0				
								10	BUS10	150.00	1	1	-17.7	35.4	50.0				
12	BUS12	150.00	1	-4.0		0.0	6.1												
								6	BUS6	150.00	1	1	-6.3	12.6	50.0				
								13	BUS13	150.00	1	1	0.2	0.4	50.0				
13	BUS13	150.00	1	-4.1		0.0	13.8												
								6	BUS6	150.00	1	1	-12.7	25.3	50.0				
								12	BUS12	150.00	1	1	-0.2	0.4	50.0				
								14	BUS14	150.00	1	1	-1.0	1.9	50.0				
14	BUS14	150.00	1	-3.9		0.0	14.9												
								9	BUS9	150.00	1	1	-15.9	31.7	50.0				
								13	BUS13	150.00	1	1	1.0	1.9	50.0				

Anexo 21 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 7 – Simulações

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Simultanea

Tipo de Calculo : Maximizacao

Tipo Compensacao : PSO

Tipo de Rede : Teorica

Maximizacao do Barramento: 7

Matriz Geracao Inicial

[[0.1 0. 232.5 0. 0. 0. 0. 0. 0. 26.7 0. 0. 0. 0.]]

Matriz GBest Inicial

[[0.3 92. 35. 79. 12. 5. 35. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 0.]]

Matriz PBest Final

[[49.4 0. 0. 0. 0. 10. 199.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[50.1 0. 0. 0. 0. 9.4 199.8 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[50. 0. 0. 0. 0. 9.4 199.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.5 0. 0. 0. 0. 9.9 199.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[49.4 0. 0. 0. 0. 0. 10. 199.9 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]

Matriz GBest Final

[[49.6 0. 0. 0. 0. 9.7 200. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]]

Rate das Linhas - Ordenado

Ln to Ln Rate Valor %
[[4. 7. 100. 100. 100.]
[7. 9. 100. 100. 100.]
[9. 10. 38.5 28.2 73.2]
[3. 4. 80. 54.9 68.6]
[2. 3. 80. 39.3 49.1]

[9. 14. 50. 24.5 49.]
[10. 11. 50. 19.2 38.4]
[6. 11. 50. 15.7 31.4]
[1. 2. 180. 44. 24.5]
[13. 14. 50. 9.6 19.2]

[4. 9. 100. 17.8 17.8]
[6. 13. 50. 5.9 11.9]
[2. 4. 80. 9.1 11.4]
[2. 5. 80. 7.8 9.8]
[6. 12. 50. 4.4 8.7]

[5. 6. 46. 3.9 8.4]
[4. 5. 80. 6. 7.5]
[1. 5. 80. 5.6 7.]
[12. 13. 50. 1.7 3.5]
[7. 8. 100. 0. 0.]]

Matriz Evolucao do Fitness

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 442

Iter	Fitness												
[1. 63.]	[32. 195.9]	[63. 195.9]	[94. 195.9]	[125. 195.9]	[156. 195.9]	[187. 195.9]	[218. 195.9]	[249. 195.9]	[280. 198.3]				
[2. 132.8]	[33. 195.9]	[64. 195.9]	[95. 195.9]	[126. 195.9]	[157. 195.9]	[188. 195.9]	[219. 195.9]	[250. 195.9]	[281. 198.3]				
[3. 187.7]	[34. 195.9]	[65. 195.9]	[96. 195.9]	[127. 195.9]	[158. 195.9]	[189. 195.9]	[220. 195.9]	[251. 198.3]	[282. 198.3]				
[4. 187.7]	[35. 195.9]	[66. 195.9]	[97. 195.9]	[128. 195.9]	[159. 195.9]	[190. 195.9]	[221. 195.9]	[252. 198.3]	[283. 198.3]				
[5. 187.7]	[36. 195.9]	[67. 195.9]	[98. 195.9]	[129. 195.9]	[160. 195.9]	[191. 195.9]	[222. 195.9]	[253. 198.3]	[284. 198.3]				
[6. 193.7]	[37. 195.9]	[68. 195.9]	[99. 195.9]	[130. 195.9]	[161. 195.9]	[192. 195.9]	[223. 195.9]	[254. 198.3]	[285. 198.3]				
[7. 193.7]	[38. 195.9]	[69. 195.9]	[100. 195.9]	[131. 195.9]	[162. 195.9]	[193. 195.9]	[224. 195.9]	[255. 198.3]	[286. 198.3]				
[8. 193.7]	[39. 195.9]	[70. 195.9]	[101. 195.9]	[132. 195.9]	[163. 195.9]	[194. 195.9]	[225. 195.9]	[256. 198.3]	[287. 198.3]				
[9. 193.7]	[40. 195.9]	[71. 195.9]	[102. 195.9]	[133. 195.9]	[164. 195.9]	[195. 195.9]	[226. 195.9]	[257. 198.3]	[288. 198.3]				
[10. 195.9]	[41. 195.9]	[72. 195.9]	[103. 195.9]	[134. 195.9]	[165. 195.9]	[196. 195.9]	[227. 195.9]	[258. 198.3]	[289. 198.3]				
[11. 195.9]	[42. 195.9]	[73. 195.9]	[104. 195.9]	[135. 195.9]	[166. 195.9]	[197. 195.9]	[228. 195.9]	[259. 198.3]	[290. 198.3]				
[12. 195.9]	[43. 195.9]	[74. 195.9]	[105. 195.9]	[136. 195.9]	[167. 195.9]	[198. 195.9]	[229. 195.9]	[260. 198.3]	[291. 198.3]				
[13. 195.9]	[44. 195.9]	[75. 195.9]	[106. 195.9]	[137. 195.9]	[168. 195.9]	[199. 195.9]	[230. 195.9]	[261. 198.3]	[292. 198.3]				
[14. 195.9]	[45. 195.9]	[76. 195.9]	[107. 195.9]	[138. 195.9]	[169. 195.9]	[200. 195.9]	[231. 195.9]	[262. 198.3]	[293. 198.3]				
[15. 195.9]	[46. 195.9]	[77. 195.9]	[108. 195.9]	[139. 195.9]	[170. 195.9]	[201. 195.9]	[232. 195.9]	[263. 198.3]	[294. 198.3]				
[16. 195.9]	[47. 195.9]	[78. 195.9]	[109. 195.9]	[140. 195.9]	[171. 195.9]	[202. 195.9]	[233. 195.9]	[264. 198.3]	[295. 198.3]				
[17. 195.9]	[48. 195.9]	[79. 195.9]	[110. 195.9]	[141. 195.9]	[172. 195.9]	[203. 195.9]	[234. 195.9]	[265. 198.3]	[296. 198.3]				
[18. 195.9]	[49. 195.9]	[80. 195.9]	[111. 195.9]	[142. 195.9]	[173. 195.9]	[204. 195.9]	[235. 195.9]	[266. 198.3]	[297. 198.3]				
[19. 195.9]	[50. 195.9]	[81. 195.9]	[112. 195.9]	[143. 195.9]	[174. 195.9]	[205. 195.9]	[236. 195.9]	[267. 198.3]	[298. 198.3]				
[20. 195.9]	[51. 195.9]	[82. 195.9]	[113. 195.9]	[144. 195.9]	[175. 195.9]	[206. 195.9]	[237. 195.9]	[268. 198.3]	[299. 198.3]				
[21. 195.9]	[52. 195.9]	[83. 195.9]	[114. 195.9]	[145. 195.9]	[176. 195.9]	[207. 195.9]	[238. 195.9]	[269. 198.3]	[300. 198.3]				
[22. 195.9]	[53. 195.9]	[84. 195.9]	[115. 195.9]	[146. 195.9]	[177. 195.9]	[208. 195.9]	[239. 195.9]	[270. 198.3]	[301. 198.3]				
[23. 195.9]	[54. 195.9]	[85. 195.9]	[116. 195.9]	[147. 195.9]	[178. 195.9]	[209. 195.9]	[240. 195.9]	[271. 198.3]	[302. 198.3]				
[24. 195.9]	[55. 195.9]	[86. 195.9]	[117. 195.9]	[148. 195.9]	[179. 195.9]	[210. 195.9]	[241. 195.9]	[272. 198.3]	[303. 198.3]				
[25. 195.9]	[56. 195.9]	[87. 195.9]	[118. 195.9]	[149. 195.9]	[180. 195.9]	[211. 195.9]	[242. 195.9]	[273. 198.3]	[304. 198.3]				
[26. 195.9]	[57. 195.9]	[88. 195.9]	[119. 195.9]	[150. 195.9]	[181. 195.9]	[212. 195.9]	[243. 195.9]	[274. 198.3]	[305. 198.3]				
[27. 195.9]	[58. 195.9]	[89. 195.9]	[120. 195.9]	[151. 195.9]	[182. 195.9]	[213. 195.9]	[244. 195.9]	[275. 198.3]	[306. 198.3]				
[28. 195.9]	[59. 195.9]	[90. 195.9]	[121. 195.9]	[152. 195.9]	[183. 195.9]	[214. 195.9]	[245. 195.9]	[276. 198.3]	[307. 198.3]				
[29. 195.9]	[60. 195.9]	[91. 195.9]	[122. 195.9]	[153. 195.9]	[184. 195.9]	[215. 195.9]	[246. 195.9]	[277. 198.3]	[308. 198.3]				
[30. 195.9]	[61. 195.9]	[92. 195.9]	[123. 195.9]	[154. 195.9]	[185. 195.9]	[216. 195.9]	[247. 195.9]	[278. 198.3]	[309. 198.3]				
[31. 195.9]	[62. 195.9]	[93. 195.9]	[124. 195.9]	[155. 195.9]	[186. 195.9]	[217. 195.9]	[248. 195.9]	[279. 198.3]	[310. 198.3]				

Nr Simulacoes : 50

Melhores Solucoes das 50 Simulacoes

163

Anexo 22 - IEEE14 – PSO – Injeção Simultânea - Barramento 10 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E FRI, SEP 16 2016 3:09
IEEE 14 BUS

X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00 1	0.0		49.6	0.0									
							2	BUS2	220.00 1 1	44.0	24.5	180.0			
							5	BUS5	220.00 1 1	5.6	7.0	80.0			
2	BUS2	220.00 1	-1.5		0.0	21.7									
							1	BUS1	220.00 1 1	-44.0	24.5	180.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	39.3	49.1	80.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	-9.1	11.4	80.0			
							5	BUS5	220.00 1 1	-7.8	9.8	80.0			
3	BUS3	220.00 1	-5.9		0.0	94.2									
							2	BUS2	220.00 1 1	-39.3	49.1	80.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	-54.9	68.6	80.0			
4	BUS4	220.00 1	-0.6		0.0	47.8									
							2	BUS2	220.00 1 1	9.1	11.4	80.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	54.9	68.6	80.0			
							5	BUS5	220.00 1 1	6.0	7.5	80.0			
							7	BUS7	60.000 1 2	-100.0	100.0	100.0			
							9	BUS9	150.00 1 2	-17.8	17.8	100.0			
5	BUS5	220.00 1	-0.7		0.0	7.6									
							1	BUS1	220.00 1 1	-5.6	7.0	80.0			
							2	BUS2	220.00 1 1	7.8	9.8	80.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	-6.0	7.5	80.0			
							6	BUS6	150.00 1 2	-3.9	8.4	46.0			
6	BUS6	150.00 1	-0.2		9.7	11.2									
							5	BUS5	220.00 1 2	3.9	8.4	46.0			
							11	BUS11	150.00 1 1	-15.7	31.4	50.0			
							12	BUS12	150.00 1 1	4.4	8.7	50.0			
							13	BUS13	150.00 1 1	5.9	11.9	50.0			
7	BUS7	60.000 1	11.4		200.0	0.0									
							4	BUS4	220.00 1 2	100.0	100.0	100.0			
							8	BUS8	15.000 1 2	0.0	0.0	100.0			
							9	BUS9	150.00 1 1	100.0	100.0	100.0			
8	BUS8	15.000 1	11.4		0.0	0.0									
							7	BUS7	60.000 1 2	0.0	0.0	100.0			
9	BUS9	150.00 1	5.1		0.0	29.5									
							4	BUS4	220.00 1 2	17.8	17.8	100.0			
							7	BUS7	60.000 1 1	-100.0	100.0	100.0			
							10	BUS10	150.00 1 1	28.2	73.2	38.5			
							14	BUS14	150.00 1 1	24.5	49.0	50.0			
10	BUS10	150.00 1	3.7		0.0	9.0									
							9	BUS9	150.00 1 1	-28.2	73.2	38.5			
							11	BUS11	150.00 1 1	19.2	38.4	50.0			
11	BUS11	150.00 1	1.6		0.0	3.5									
							6	BUS6	150.00 1 1	15.7	31.4	50.0			
							10	BUS10	150.00 1 1	-19.2	38.4	50.0			
12	BUS12	150.00 1	-0.8		0.0	6.1									
							6	BUS6	150.00 1 1	-4.4	8.7	50.0			
							13	BUS13	150.00 1 1	-1.7	3.5	50.0			
13	BUS13	150.00 1	-0.6		0.0	13.8									
							6	BUS6	150.00 1 1	-5.9	11.9	50.0			
							12	BUS12	150.00 1 1	1.7	3.5	50.0			
							14	BUS14	150.00 1 1	-9.6	19.2	50.0			
14	BUS14	150.00 1	1.3		0.0	14.9									
							9	BUS9	150.00 1 1	-24.5	49.0	50.0			
							13	BUS13	150.00 1 1	9.6	19.2	50.0			

Anexo 23 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – Simulações

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Simultanea

Tipo de Calculo : Maximizacao

Tipo Compensacao : Homotetica

Tipo de Rede : Real

Maximizacao do Barramento: 2

Matriz Geracao Inicial

[[30. 100. 20. 80.]]

Matriz GBest Inicial

[[27. 109. 19. 75.]]

Matriz PBest Final

```
[ [ 28.4 106.7 19. 75.9]
  [ 28.4 106.7 19. 75.9]
  [ 28.4 106.7 19. 75.9]
  [ 28.4 106.7 19. 75.9]
  [ 28.4 106.7 19. 75.9]
```

```
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
```

```
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
```

```
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]
[ 28.4 106.7 19. 75.9]]
```

Matriz GBest Final

[[28.4 106.7 19. 75.9]]

Rate das Linhas - Ordenado

	Br	to	Br	Rate	Valor	%
[[	2.	4.	50.	50.	100.]
[	1.	4.	80.	29.7	37.1]	
[	3.	4.	80.	24.4	30.6]	
[	2.	3.	100.	5.4	5.4]	
[	1.	2.	100.	1.3	1.3]	

Matriz Evolucao do Fitness

Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 135

Iter		Fitness																										
[	1.	[	37.	105.4]	[	73.	106.2]	[	109.	106.2]	[	145.	106.7]	[	181.	106.7]	[	217.	106.7]	[	253.	106.7]	[	289.	106.7]	[	325.	106.7]
[	2.	[	38.	105.4]	[	74.	106.2]	[	110.	106.2]	[	146.	106.7]	[	182.	106.7]	[	218.	106.7]	[	254.	106.7]	[	290.	106.7]	[	326.	106.7]
[	3.	[	39.	105.4]	[	75.	106.2]	[	111.	106.2]	[	147.	106.7]	[	183.	106.7]	[	219.	106.7]	[	255.	106.7]	[	291.	106.7]	[	327.	106.7]
[	4.	[	40.	105.4]	[	76.	106.2]	[	112.	106.2]	[	148.	106.7]	[	184.	106.7]	[	220.	106.7]	[	256.	106.7]	[	292.	106.7]	[	328.	106.7]
[	5.	[	41.	105.4]	[	77.	106.2]	[	113.	106.2]	[	149.	106.7]	[	185.	106.7]	[	221.	106.7]	[	257.	106.7]	[	293.	106.7]	[	329.	106.7]
[	6.	[	42.	105.4]	[	78.	106.2]	[	114.	106.2]	[	150.	106.7]	[	186.	106.7]	[	222.	106.7]	[	258.	106.7]	[	294.	106.7]	[	330.	106.7]
[	7.	[	43.	105.4]	[	79.	106.2]	[	115.	106.2]	[	151.	106.7]	[	187.	106.7]	[	223.	106.7]	[	259.	106.7]	[	295.	106.7]	[	331.	106.7]
[	8.	[	44.	105.4]	[	80.	106.2]	[	116.	106.2]	[	152.	106.7]	[	188.	106.7]	[	224.	106.7]	[	260.	106.7]	[	296.	106.7]	[	332.	106.7]
[	9.	[	45.	105.4]	[	81.	106.2]	[	117.	106.2]	[	153.	106.7]	[	189.	106.7]	[	225.	106.7]	[	261.	106.7]	[	297.	106.7]	[	333.	106.7]
[	10.	[	46.	105.4]	[	82.	106.2]	[	118.	106.2]	[	154.	106.7]	[	190.	106.7]	[	226.	106.7]	[	262.	106.7]	[	298.	106.7]	[	334.	106.7]
[	11.	[	47.	105.4]	[	83.	106.2]	[	119.	106.2]	[	155.	106.7]	[	191.	106.7]	[	227.	106.7]	[	263.	106.7]	[	299.	106.7]	[	335.	106.7]
[	12.	[	48.	105.4]	[	84.	106.2]	[	120.	106.2]	[	156.	106.7]	[	192.	106.7]	[	228.	106.7]	[	264.	106.7]	[	300.	106.7]	[	336.	106.7]
[	13.	[	49.	105.4]	[	85.	106.2]	[	121.	106.2]	[	157.	106.7]	[	193.	106.7]	[	229.	106.7]	[	265.	106.7]	[	301.	106.7]	[	337.	106.7]
[	14.	[	50.	105.4]	[	86.	106.2]	[	122.	106.2]	[	158.	106.7]	[	194.	106.7]	[	230.	106.7]	[	266.	106.7]	[	302.	106.7]	[	338.	106.7]
[	15.	[	51.	105.4]	[	87.	106.2]	[	123.	106.2]	[	159.	106.7]	[	195.	106.7]	[	231.	106.7]	[	267.	106.7]	[	303.	106.7]	[	339.	106.7]
[	16.	[	52.	105.4]	[	88.	106.2]	[	124.	106.2]	[	160.	106.7]	[	196.	106.7]	[	232.	106.7]	[	268.	106.7]	[	304.	106.7]	[	340.	106.7]
[	17.	[	53.	105.4]	[	89.	106.2]	[	125.	106.2]	[	161.	106.7]	[	197.	106.7]	[	233.	106.7]	[	269.	106.7]	[	305.	106.7]	[	341.	106.7]
[	18.	[	54.	105.4]	[	90.	106.2]	[	126.	106.2]	[	162.	106.7]	[	198.	106.7]	[	234.	106.7]	[	270.	106.7]	[	306.	106.7]	[	342.	106.7]
[	19.	[	55.	105.4]	[	91.	106.2]	[	127.	106.2]	[	163.	106.7]</															

CICLO DE SIMULACOES : 50

Solucoes das 50 Simulacoes

166

Anexo 24 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E SUN, SEP 11 2016 20:29

X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00 1	0.0		28.4	0.0									
							2	BUS2	220.00 1 1	-1.3	1.3	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	29.7	37.1	80.0			
2	BUS2	220.00 1	0.1		106.7	50.0									
							1	BUS1	220.00 1 1	1.3	1.3	100.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	5.4	5.4	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	50.0	100.0	50.0			
3	BUS3	220.00 1	-0.2		19.0	0.0									
							2	BUS2	220.00 1 1	-5.4	5.4	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	24.4	30.6	80.0			
4	BUS4	220.00 1	-1.4		75.9	180.0									
							1	BUS1	220.00 1 1	-29.7	37.1	80.0			
							2	BUS2	220.00 1 1	-50.0	100.0	50.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	-24.4	30.6	80.0			

Anexo 25 - 4 BUS – Homotética – Barramento 2 – SPIL - PSS®E

```

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      SUN, SEP 11 2016  20:22      PAGE 1 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR BASE CASE      ***
.
.....

DISTRIBUTION FACTOR FILE:      D:\SIMULACAO\4BUS\DFAX.dfx
SUBSYSTEM DESCRIPTION FILE:    D:\SIMULACAO\4BUS\Subsystems.sub
MONITORED ELEMENT FILE:       D:\SIMULACAO\4BUS\monitored.mon
CONTINGENCY DESCRIPTION FILE:  D:\SIMULACAO\4BUS\Contingency.con

      PRE-SHIFT      DELTA      POST-SHIFT
STUDY SYSTEM MW GENERATION:    100.0    130.0    230.0
OPPOSING SYSTEM MW GENERATION: 130.0   -130.0     0.0
STUDY SYSTEM NET INTERCHANGE:   50.0    130.0    180.0

<----- STUDY SYSTEM -----> <----- OPPOSING SYSTEM ----->
<----- GENERATOR MW -----> <----- GENERATOR MW ----->
BUS# X---- NAME ----X BASKV   BASE  SHIFT  CHANGE  BUS# X---- NAME ----X BASKV   BASE  SHIFT  CHANGE
   2  BUS2      220.00   100.0   230.0   130.0      1  BUS1      220.00   30.0   -0.0   -30.0
                                   3  BUS3      220.00   20.0    0.0   -20.0
                                   4  BUS4      220.00   80.0   -0.0   -80.0

LOADINGS AT OR ABOVE 100.0 %
OF RATING ARE MARKED WITH '*'

<----- BASE CASE ----->
      INCR.      PRE-      POST-      LIMIT
      TRANS      RATING  SHIFT      CASE      DISTR.
<----- F R O M -----> <----- T O -----> CKT  CAPAB  1  MW      MW      MW      FACTOR
2  BUS2      220.00   4  BUS4      220.00   1  6.7    50  46.4  115.7*  50.0*  0.53297
1  BUS1      220.00   2  BUS2      220.00   1  400.7   100  0.4   -32.1  -1.2  -0.25063
2  BUS2      220.00   3  BUS3      220.00   1  443.6   100  4.0   32.1   5.5  0.21640
3  BUS3      220.00   4  BUS4      220.00   1  894.4    80  24.0  32.1  24.4  0.06260
1  BUS1      220.00   4  BUS4      220.00   1  2544.0   80  29.6  32.1  29.7  0.01983

```

```

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      SUN, SEP 11 2016  20:22      PAGE 2 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR SUBSYSTEM STUDY      ***
.
.....

SOLUTION OF      1 SYSTEM CONDITIONS ATTEMPTED      0 INSOLUBLE SYSTEM CONDITIONS

      INCR.      PRE- RATING
      TRANS <----- LIMITING ELEMENT -----> DISTR.  SHIFT BAS/CNT
CAPAB <----- F R O M -----> <----- T O ----->CKT  FACTOR  MW  1/1 <----- CONTINGENCY DESCRIPTION ----->
6.7    2  BUS2      220.00   4  BUS4      220.00   1  0.53297  46.4  50.0 BASE CASE
400.7  1  BUS1      220.00   2  BUS2      220.00   1  -0.25063  0.4  100.0 BASE CASE
443.6  2  BUS2      220.00   3  BUS3      220.00   1  0.21640  4.0  100.0 BASE CASE
894.4  3  BUS3      220.00   4  BUS4      220.00   1  0.06260  24.0  80.0 BASE CASE
2544.0 1  BUS1      220.00   4  BUS4      220.00   1  0.01983  29.6  80.0 BASE CASE

```

Anexo 26 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Simulações

CENARIO
 Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : Homotetica Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 3

```
Matriz Geracao Inicial                                Matriz GBest Inicial
[[ 30. 100.  20.  80.]]                               [[ 15.  50. 125.  40.]]
```

Matriz	PBest	Final
[[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]
[[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]
[[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]
[[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]
[[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]	[15.2 50.5 123.9 40.4]

```
Matriz GBest Final
[[ 15.2  50.5 123.9  40.4]]
```

Rate das Linhas - Ordenado

	Br	to	Br	Rate	Valor	%
[[	3.	4.	80.	80.	100.]
[	2.	4.	50.	40.1	80.1]	
[	2.	3.	100.	43.9	43.9]	
[	1.	4.	80.	19.6	24.5]	
[	1.	2.	100.	4.4	4.4]	

Matriz Evolucao do Fitness
Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 27

[illegible]

CICLO DE SIMULACOES: 50

Solucoes das 50 Simulacoes

170

Anexo 27 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Trânsito Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E

MON, SEP 12 2016 22:03

X-----	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00 1	0.0		15.2	0.0									
							2	BUS2	220.00 1 1	-4.4	4.4	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	19.6	24.5	80.0			
2	BUS2	220.00 1	0.3		50.5	50.0									
							1	BUS1	220.00 1 1	4.4	4.4	100.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	-43.9	43.9	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	40.1	80.1	50.0			
3	BUS3	220.00 1	2.8		123.9	0.0									
							2	BUS2	220.00 1 1	43.9	43.9	100.0			
							4	BUS4	220.00 1 1	80.0	100.0	80.0			
4	BUS4	220.00 1	-0.9		40.4	180.0									
							1	BUS1	220.00 1 1	-19.6	24.5	80.0			
							2	BUS2	220.00 1 1	-40.1	80.1	50.0			
							3	BUS3	220.00 1 1	-80.0	100.0	80.0			

Anexo 28 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – SPIL - PSS®E

```

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      MON, SEP 12 2016  22:17      PAGE 1 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR BASE CASE      ***
.
.....

DISTRIBUTION FACTOR FILE:      D:\SIMULACAO\4BUS\Bus3\DFAX.dfx
SUBSYSTEM DESCRIPTION FILE:    D:\SIMULACAO\4BUS\Bus3\Subsystems.sub
MONITORED ELEMENT FILE:       D:\SIMULACAO\4BUS\Bus3\Monitored.mon
CONTINGENCY DESCRIPTION FILE:  D:\SIMULACAO\4BUS\Bus3\Contingency.con

      PRE-SHIFT      DELTA      POST-SHIFT
STUDY SYSTEM MW GENERATION:    20.0      210.0      230.0
OPPOSING SYSTEM MW GENERATION: 210.0     -210.0      -0.0
STUDY SYSTEM NET INTERCHANGE:  20.0      210.0      230.0

<----- STUDY SYSTEM -----> <----- OPPOSING SYSTEM ----->
<----- GENERATOR MW -----> <----- GENERATOR MW ----->
BUS# X---- NAME ----X BASKV   BASE  SHIFT  CHANGE  BUS# X---- NAME ----X BASKV   BASE  SHIFT  CHANGE
   3   BUS3      220.00    20.0   230.0   210.0    1   BUS1      220.00    30.0   -0.0   -30.0
                                   2   BUS2      220.00   100.0    0.0  -100.0
                                   4   BUS4      220.00    80.0   -0.0   -80.0

LOADINGS AT OR ABOVE 100.0 %
OF RATING ARE MARKED WITH '*'

<----- BASE CASE ----->
      INCR.      PRE-      POST-      LIMIT
      TRANS RATING SHIFT  SHIFT  CASE  DISTR.
<----- F R O M -----> <----- T O -----> CKT  CAPAB  1  MW  MW  MW  FACTOR
3   BUS3      220.00    4   BUS4      220.00    1  104.0  80  24.0  137.1*  80.0*  0.53855
2   BUS2      220.00    3   BUS3      220.00    1  225.4  100  4.0  -92.9  -44.0  -0.46145
1   BUS1      220.00    4   BUS4      220.00    1  1136.7  80  29.6   9.3  19.5  -0.09638
2   BUS2      220.00    4   BUS4      220.00    1  1575.4  50  46.4  33.6  40.1  -0.06121
1   BUS1      220.00    2   BUS2      220.00    1  2159.8  100  0.4   -9.3  -4.4  -0.04650
-----

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      MON, SEP 12 2016  22:17      PAGE 2 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR SUBSYSTEM STUDY      ***
.
.....

SOLUTION OF      1 SYSTEM CONDITIONS ATTEMPTED      0 INSOLUBLE SYSTEM CONDITIONS

      INCR.      PRE- RATING
      TRANS <----- LIMITING ELEMENT -----> DISTR.  SHIFT BAS/CNT
      CAPAB <----- F R O M -----> <----- T O ----->CKT  FACTOR  MW  1/1 <----- CONTINGENCY DESCRIPTION ----->
104.0      3   BUS3      220.00    4   BUS4      220.00    1  0.53855  24.0  80.0 BASE CASE
225.4      2   BUS2      220.00    3   BUS3      220.00    1 -0.46145  4.0  100.0 BASE CASE
1136.7     1   BUS1      220.00    4   BUS4      220.00    1 -0.09638  29.6  80.0 BASE CASE
1575.4     2   BUS2      220.00    4   BUS4      220.00    1 -0.06121  46.4  50.0 BASE CASE
2159.8     1   BUS1      220.00    2   BUS2      220.00    1 -0.04650  0.4  100.0 BASE CASE

```

CENARIO
Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : Homotetica Tipo de Rede : Real Maximizacao do Barramento: 4

```
Matriz GBest Inicial
[[ 0.  3.  1. 226.]]
```

```
[ -0.    0.    0.  230.]
[  0.    0.    0.  230.]
[ -0.    0.    0.  230.]
[ -0.    0.    0.  230.]
[ -0.    0.    0.  230.]
```

```
[ 0.  0.  0. 230.]
[ 0.  0.  0. 230.]
[ 0.  0.  0. 230.]
[ 0.  0.  0. 230.]
[-0.  0.  0. 230.]
```

```
[ 0.  0.  0. 230.]
[-0.  0.  0. 230.]
[ 0.  0.  0. 230.]
[-0.  0.  0. 230.]
[ 0.  0.  0. 230.]]
```

Rate das Linhas - Ordenado

Matriz Evolucao do Fitness
Ultima iteracao com Atualizacao do Fitness: 36

[illegible]

CICLO DE SIMULACOES: 50

Solucoes das 50 Simulacoes

174

Anexo 30 - 4 BUS – Homotética – Barramento 3 – Trânsito de Potência - PSS®E

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E TUE, SEP 13 2016 0:57

X-----		FROM BUS		-----X		BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----		TO BUS		-----X		BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#	SCT	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	ANGLE	MW	MW	BUS#	SCT	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW
1			BUS1		220.00	1	0.0	0.0	0.0												
										2			BUS2		220.00	1	1	8.9	8.9	100.0	
										4			BUS4		220.00	1	1	-8.9	11.2	80.0	
2			BUS2		220.00	1	-0.5	0.0	50.0												
										1			BUS1		220.00	1	1	-8.9	8.9	100.0	
										3			BUS3		220.00	1	1	-8.9	8.9	100.0	
										4			BUS4		220.00	1	1	-32.1	64.3	50.0	
3			BUS3		220.00	1	0.0	0.0	0.0												
										2			BUS2		220.00	1	1	8.9	8.9	100.0	
										4			BUS4		220.00	1	1	-8.9	11.2	80.0	
4			BUS4		220.00	1	0.4	230.0	180.0												
										1			BUS1		220.00	1	1	8.9	11.2	80.0	
										2			BUS2		220.00	1	1	32.1	64.3	50.0	
										3			BUS3		220.00	1	1	8.9	11.2	80.0	

Anexo 31 - 4 BUS – Homotética – Barramento 4 – SPIL - PSS®E

```

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      TUE, SEP 13 2016   1:06      PAGE 1 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR BASE CASE      ***
.
.....

```

DISTRIBUTION FACTOR FILE: D:\SIMULACAO\4BUS\Bus4\DFAX.dfx
 SUBSYSTEM DESCRIPTION FILE: D:\SIMULACAO\4BUS\Bus4\Subsystems.sub
 MONITORED ELEMENT FILE: D:\SIMULACAO\4BUS\Bus4\Monitored.mon
 CONTINGENCY DESCRIPTION FILE: D:\SIMULACAO\4BUS\Bus4\Contingency.con

	PRE-SHIFT	DELTA	POST-SHIFT
STUDY SYSTEM MW GENERATION:	80.0	150.0	230.0
OPPOSING SYSTEM MW GENERATION:	150.0	-150.0	0.0
STUDY SYSTEM NET INTERCHANGE:	-100.0	150.0	50.0

<----- STUDY SYSTEM ----->						<----- OPPOSING SYSTEM ----->									
<----- GENERATOR MW ----->						<----- GENERATOR MW ----->									
BUS#	X----	NAME	----X	BASKV	BASE	SHIFT	CHANGE	BUS#	X----	NAME	----X	BASKV	BASE	SHIFT	CHANGE
4		BUS4		220.00	80.0	230.0	150.0	1		BUS1		220.00	30.0	-0.0	-30.0
								2		BUS2		220.00	100.0	-0.0	-100.0
								3		BUS3		220.00	20.0	0.0	-20.0

LOADINGS AT OR ABOVE 100.0 %
 OF RATING ARE MARKED WITH '*'

<----- F R O M ----->						<----- T O ----->						CKT	INCR.	TRANS	RATING	PRE-	POST-	LIMIT	DISTR.
													CAPAB	1	SHIFT	SHIFT	CASE	FACTOR	
															MW	MW	MW		
2	BUS2	220.00	4	BUS4	220.00	1	184.1	50	46.4	-32.1	-50.0*	-0.52382							
1	BUS1	220.00	4	BUS4	220.00	1	427.0	80	29.6	-8.9	-17.7	-0.25662							
3	BUS3	220.00	4	BUS4	220.00	1	473.7	80	24.0	-8.9	-16.4	-0.21956							
2	BUS2	220.00	3	BUS3	220.00	1	1205.7	100	4.0	-8.9	-11.9	-0.08626							
1	BUS1	220.00	2	BUS2	220.00	1	1758.5	100	0.4	8.9	10.9	0.05662							

```

1.....
.      PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      TUE, SEP 13 2016   1:06      PAGE 2 .
.
.
.
.
.      *** SPIL EXPORT LIMIT OUTPUT FOR SUBSYSTEM STUDY      ***
.
.....

```

SOLUTION OF 1 SYSTEM CONDITIONS ATTEMPTED 0 INSOLUBLE SYSTEM CONDITIONS

INCR.	TRANS	<----- LIMITING ELEMENT ----->						DISTR.	PRE-	RATING	<----- CONTINGENCY DESCRIPTION ----->					
CAPAB	<----- F R O M ----->	<----- T O ----->						CKT	SHIFT	BAS/CNT						
									MW	1/1						
184.1	2	BUS2	220.00	4	BUS4	220.00	1	-0.52382	46.4	50.0	BASE CASE					
427.0	1	BUS1	220.00	4	BUS4	220.00	1	-0.25662	29.6	80.0	BASE CASE					
473.7	3	BUS3	220.00	4	BUS4	220.00	1	-0.21956	24.0	80.0	BASE CASE					
1205.7	2	BUS2	220.00	3	BUS3	220.00	1	-0.08626	4.0	100.0	BASE CASE					
1758.5	1	BUS1	220.00	2	BUS2	220.00	1	0.05662	0.4	100.0	BASE CASE					

Anexo 32 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2,4,1 - Simulação

CENARIO

Tipo de Injecao : Injecao Simultanea Tipo de Calculo : Maximizacao Tipo Compensacao : Ordem Mérito Tipo de Rede : Real

Sequencias de simulacao barramentos

[[3 2 4 1]]

```
+-----+
|          |
| SIMULACAO BARRAMENTO 3 |
|          |
+-----+
```

Solucao Final para Barramento: 3

Matriz GBest Final

[[0.1 0. 140.0 89.9]]

Rate das Linhas - Ordenado

	Ln	to Ln	Rate	Value	%
[	3.	4.	80.	80.	100.]
[	2.	3.	100.	60.	60.]
[	2.	4.	50.	7.9	15.8]
[	1.	4.	80.	2.2	2.8]
[	1.	2.	100.	2.1	2.1]]

```
+-----+
```

```
+-----+
|          |
| SIMULACAO BARRAMENTO 2 |
|          |
+-----+
```

Solucao Final para Barramento: 2

Matriz GBest Final

[[1. 0. 140. 89.]]

Rate das Linhas - Ordenado

	Ln	to Ln	Rate	Value	%
[	3.	4.	80.	80.	100.]
[	2.	3.	100.	60.	60.]
[	2.	4.	50.	7.9	15.9]
[	1.	4.	80.	2.4	3.]
[	1.	2.	100.	2.1	2.1]]

```
+-----+
```

```
+-----+
|          |
| SIMULACAO BARRAMENTO 4 |
|          |
+-----+
```

Solucao Final para Barramento: 4

Matriz GBest Final

[[0. 0. 140. 90.]]

Rate das Linhas - Ordenado

	Ln	to Ln	Rate	Value	%
[	3.	4.	80.	80.	100.]
[	2.	3.	100.	60.	60.]
[	2.	4.	50.	7.9	15.7]
[	1.	4.	80.	2.2	2.7]
[	1.	2.	100.	2.2	2.2]]

```
+-----+
```

Anexo 33 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3 – Trânsito Potência

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E WED, SEP 14 2016 23:29

X----- FROM BUS -----X				BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS -----X				BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0		0.1	0.0											
								2	BUS2	220.00	1	1	-2.1	2.1	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	2.2	2.8	80.0			
2	BUS2	220.00	1	0.1		0.0	50.0											
								1	BUS1	220.00	1	1	2.1	2.1	100.0			
								3	BUS3	220.00	1	1	-60.0	60.0	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	7.9	15.8	50.0			
3	BUS3	220.00	1	3.6		140.0	0.0											
								2	BUS2	220.00	1	1	60.0	60.0	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	80.0	100.0	80.0			
4	BUS4	220.00	1	-0.1		89.9	180.0											
								1	BUS1	220.00	1	1	-2.2	2.8	80.0			
								2	BUS2	220.00	1	1	-7.9	15.8	50.0			
								3	BUS3	220.00	1	1	-80.0	100.0	80.0			

Anexo 34 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2 – Trânsito Potência

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E WED, SEP 14 2016 23:25

X----- FROM BUS -----X				BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-----	TO BUS -----X				BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0		1.0	0.0											
								2	BUS2	220.00	1	1	-1.8	1.8	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	2.8	3.5	80.0			
2	BUS2	220.00	1	0.1		0.0	50.0											
								1	BUS1	220.00	1	1	1.8	1.8	100.0			
								3	BUS3	220.00	1	1	-60.0	60.0	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	8.1	16.3	50.0			
3	BUS3	220.00	1	3.5		140.0	0.0											
								2	BUS2	220.00	1	1	60.0	60.0	100.0			
								4	BUS4	220.00	1	1	80.0	100.0	80.0			
4	BUS4	220.00	1	-0.1		89.0	180.0											
								1	BUS1	220.00	1	1	-2.8	3.5	80.0			
								2	BUS2	220.00	1	1	-8.1	16.3	50.0			
								3	BUS3	220.00	1	1	-80.0	100.0	80.0			

Anexo 35 - 4 BUS – Ordem de Mérito – Sequência Barramento 3,2,4 – Trânsito Potência

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E WED, SEP 14 2016 23:30

X-	FROM BUS	-----X	BASE	CHANGE	GEN.	LOAD	X-	TO BUS	-----X	BASE	CASE	RATE1	CHANGE	CASE	DELTA
BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA	ANGLE	ANGLE	MW	MW	BUS#-SCT	X-- NAME	--X BASKV AREA CKT	MW	%	MVA	MW	%	MW
1	BUS1	220.00	1	0.0	0.0		2	BUS2	220.00	1	1	-2.2	2.2	100.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	2.2	2.7	80.0	
2	BUS2	220.00	1	0.1	0.0	50.0	1	BUS1	220.00	1	1	2.2	2.2	100.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-60.0	60.0	100.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	7.9	15.7	50.0	
3	BUS3	220.00	1	3.6	140.0	0.0	2	BUS2	220.00	1	1	60.0	60.0	100.0	
							4	BUS4	220.00	1	1	80.0	100.0	80.0	
4	BUS4	220.00	1	-0.1	90.0	180.0	1	BUS1	220.00	1	1	-2.2	2.7	80.0	
							2	BUS2	220.00	1	1	-7.9	15.7	50.0	
							3	BUS3	220.00	1	1	-80.0	100.0	80.0	